rehabilitar

Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto

Red Rehabilitar

degussa.
creating essentials

CYTED
Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento
Programa de Cooperação IberoAmericana
CYTED Sub Programa XV
Corrosão e Impacto Ambiental sobre os Materiais
Red Rehabilitar CYTED XV.F
Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto
Abril 2000 a Setembro 2003

Manual de Reabilitação de Estruturas de Concreto
Reparo, Reforço e Proteção

Argentina Bolivia Brasil Chile Colômbia Cuba España
México Paraguay Perú Portugal Uruguay Venezuela

ISBN 85-903707-2-0

Coordenador Internacional
Paulo Helene

Comitê Diretor
Paulo Helene
Pedro Castro
Vitervo O´Reilly

Delegados Nacionais
Raul Husni Mário Terán Enio Pazini Hugo Barrera Harold Muñoz Vitervo O´Reilly Antonio Aguado
Pedro Castro Angelica Ayala Gaby Quesada Fernando Branco Jorge Franco Oladis de Rincón

Toda pessoa se beneficia com um produto **Degussa**, todo dia em todo lugar

A maior empresa de especialidades químicas do mundo, a Degussa iniciou suas atividades em 1873, na Alemanha.

Hoje, os produtos Degussa podem ser encontrados como matéria-prima em praticamente todos os setores industriais, como celulose e papel, agricultura, reflorestamento, pneus, tintas e resinas, construção civil, fraldas descartáveis, tratamento de água, materiais sintéticos e borracha, entre outros.

Há mais de 130 anos no mercado mundial, a Degussa estabelece contato direto com os clientes, oferecendo soluções adequadas para cada perfil, baseadas em pesquisa e conhecimento.

A Degussa está organizada em 21 Unidades de Negócios reunidas em 5 Divisões: Química para Construção, Química Fina & Industrial, Química de Performance, Polímeros Especiais e Tintas & Resinas, além de 6 Unidades de Serviços.

A Degussa reúne cerca de 47 mil colaboradores em todo o mundo, com faturamento global de aproximadamente 11 bilhões de Euros por ano.

Inovação Tecnológica

Mundialmente, a divisão Degussa Construction Chemicals está organizada em dois grupos de linha de produtos: Sistemas de Aditivos e Sistemas de Construção, divididos geograficamente em três regiões: as Américas, Europa e Ásia/Pacífico, elaborando produtos e serviços de construção através do mundo. A Degussa Construction Chemicals, tem capacidade de criar, transformar e sintetizar elementos químicos, conhecimento e recursos para servir as mais diversas necessidades da indústria da construção.

Degussa Construction Chemicals Brasil

No Brasil, a Degussa Construction Chemicals tem se mostrado ao mercado cada vez mais presente, apresentando soluções inovadoras nos seguintes segmentos: aditivos para concreto; pisos industriais; reparo, recuperação e reforço estrutural; impermeabilização e proteção; anticorrosivos e muitos outros.

A Degussa Construction Chemicals Brasil participa da publicação deste livro na qualidade de patrocinador e colaborador, sendo cada autor responsável pelo seu conteúdo. Esta obra foi elaborada para servir de guia prático para soluções de problemas de reparos de estruturas de concreto.Entretando, o correto diagnóstico de problemas de reparos seguido de um projeto e finalmente sua execução, devem ser sempre acompanhados por um profissional especialista em reparos, bem como o controle de qualidade e ensaios laboratoriais.

Degussa Construction Chemicals Brasil
Rua Costa Barros, 3089 São Paulo SP
www.degussa-cc.com.br

Manual de Reabilitação de Estruturas de Concreto. Reparo, Reforço e Proteção.
Red Rehabilitar, editores. São Paulo, 2003.
718p. 16 x 23 cm
Incluie índice detalhado.
ISBN 85-903707-2-0
1.Concreto-reabilitação 2.Concreto-manutenção 3.Concreto-durabilidade 4.Concreto-corrosão
CDU 624.012.004.54

Manual de Reabilitação de Estruturas de Concreto
Reparo, Reforço e Proteção

Red Rehabilitar
Prof. Paulo Helene
Universidade de São Paulo
Escola Politécnica
Rua São Dário,14 - CJ. 04
São Paulo SP 05591-090 Brasil

Tradução:
Engº Osvando Braga Junior
e-mail: osvandobraga@hotmail.com

Editoração e Diagramação Eletronica
Arq. Richard Luis
e-mail: arqrichardluis@gmail.com

Impressão
Multiprinter Edit e Tecnol. Educacional Ltda
Editora Multipla
Rua Caramuru , 374
Saude - São Paulo - Brasil

CYTED

Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento

www.cyted.org

Secretário Geral
José Antonio Cordero Martín
C/Amaniel 4 28015 Madrid España
tel. 34-91-531-6387 fax. 34-91-522-7845
cordero@cyted.org

Secretário Adjunto
Leonardo Uller
SEPN 507 3ºandar sala 315 Brasília Brasil
tel. 55-21-2557-3358 fax. 55-21-2557-3358
luller@cyted.org

Subprograma XV
Corrosión e Impacto Ambiental sobre los Materiales
Coordenador Internacional
Carmen Andrade Perdrix
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja
C/Serrano Galvache S/N 28033 Madrid España
tel. 34-91-302-0440 fax. 34-91-302-0700
andrade@ietcc.csic.es

Novas Propostas, Redes e Projetos
Sonia López Francoy
C/Amaniel 4 28015 Madrid España
tel. 34-91-531-6387 fax. 34-91-522-7845
sonia@cyted.org

Tesoureiro
Juan Martínez de Marañon
C/Amaniel 4 28015 Madrid España
tel. 34-91-531-6387 fax. 34-91-522-7845
juan@cyted.org

Diretório, Calendário de Atividades e Página na Internet
Oscar Castro Rueda
C/Amaniel 4 28015 Madrid España
tel. 34-91-531-6387 fax. 34-91-522-7845
oscar@cyted.org

Informatização de Biblioteca e Elaboração de Estudos
Susana Ferrándiz Martín
C/Amaniel 4 28015 Madrid España
tel. 34-91-531-6387 fax. 34-91-522-7845
susana@cyted.org

CNPq

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

www.cnpq.br

Presidente
Erney Felício Plessmann de Camargo
SEPN 507 3º andar sala 300 Brasília Brasil
tel. 55-61-348-9401 fax. 55-61- 348-9341
presidencia@cnpq.br

Vice-Presidente
Manuel Domingos Neto
SEPN 507 3º andar sala 300 Brasília Brasil
tel. 55-61-348-9401 fax: (61) 348-9487

Assessoria de Cooperação Internacional
Maria Cláudia Miranda Diogo
SEPN 507 3ºandar sala 315 Brasília Brasil
tel. 55-61-348-9441 fax. 55-61-348-9442
mdiogo@cnpq.br
Paulo Cesar
SEPN 507 3ºandar sala 315 Brasília Brasil
tel: 55-61-348-9441 fax: (61) 348-9442
pcesar@cnpq.br

COMITÊ DIRETOR
Paulo Helene
Pedro Castro
Vitervo O'Reilly

COORDENADOR INTERNACIONAL
PAULO HELENE
Universidade de São Paulo PCC.USP
Rua Visconde de Ouro Preto 51 # 203
São Paulo SP01303-060 Brasil
tel. 55-11-3091-5442 fax 55-11-3091-5544
paulo.helene@poli.usp.br

DELEGADO ARGENTINA
RAÚL HUSNI
Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ingeniería
Azcuénaga 1767 E.P. of. 3
1128 Buenos Aires Argentina.
tel. 54-11-4803-5711 fax 54-11-4803-4135
husni@arnet.com.ar

DELEGADO BOLÍVIA
MARIO TERÁN
Universidad Mayor de San Andrés
Instituto de Ensayo de Materiales
Av. Villazón 1995
CC 14026 La Paz Bolívia
tel. 59-12-244-4086 fax 59-12-7152-3557
mrteran@iem.umsanet.edu.bo

DELEGADO BRASIL
Enio Pazini Figueiredo
Universidade Federal de Goiás
Escola de Engenharia Civil
Praça Universitaria S/N
Goiânia GO74605-220 Brasil
tel.55-62-261-261-5593 fax: 55-62-202-0875
epazini@terra.com.br

DELEGADO COLÔMBIA
HAROLD MUÑOZ MUÑOZ
Insercol
Ingenieria de Servicios de Colombia ltda
Carrera 9B 121-30
Santa Fe de Bogota D.C. Colombia
Tel. 57-1-213-5343 fax.57-1-522-6170
hmunoz@mailcity.com

DELEGADO CUBA
VITERVO O'REILLY
Ministerio de la Construcción
Comisión Nacional del Cemento y el Hormigón
Calle 25 # 226 Apto A entre N y O
Vedado Ciudad de la Habana Cuba
tel. 53-7-32-1861 fax: 53-7-33-5585
vorelly@infomed.sld.cu

DELEGADO CHILE
HUGO BARRERA
Universidad de Santiago de Chile
Depto Ingeniería en Obras Civiles
Casilla 442-2 Santiago Chile
tel. 56-21-2776-2446 fax: 56-21-2776-1581
hbarrera@lauca.usach.cl

DELEGADO ESPANHA
ANTONIO AGUADO
Universitat Politécnica de Catalunya
E.T.S.I.C.C.P.
Gran Capitán Módulo C-1 Despacho 211
08034 Barcelona España
tel. 34-93-401-6507 fax: 34-93-401-6504
antonio.aguado@upc.es

DELEGADO MÉXICO
PEDRO CASTRO
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N.
CINVESTAV Departamento de Física Aplicada
km 6 Antigua Carretera a Progreso, AP 73 Cordemex
Mérida Yucatán México
tel. 52-999-981-2905 fax: 52-999-81-2917
pcastro@mda.cinvestav.mx

DELEGADO PARAGUAI
ANGÉLICA AYALA
Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción
Facultad de Ciencias y Tecnología
Departamento de Ingeniería Civil e Industrial
Campus Universitario Santa Librada
Cantaluppi y Villallon Asunción Paraguay
tel. 59-52-133-4650 fax: 59-52-131-1820
aayala@uca.edu.py

Delegado Peru
Gaby Quesada
Pontificia Universidad Catolica
Don Aurelio n. 634 Urb. Las Violetas
Surco Lima Perú
tel: 51-1-440-7254 fax: 51-1-442-2799
gabyquesada@hotmail.com

Delegado Portugal
Fernando Branco
Instituto Superior Técnico
Universidade Técnica de Lisboa
Depto. Engenharia Civil e Arquitetura
Av. Rovisco Pais
1049-001 Lisboa Portugal
tel. 35-121-841-8229 fax: 35-121-848-8481
fbranco@civil.ist.utl.pt

Delegado Uruguai
Jorge Franco
Banco Hipotecário
Dr Benigno Paiva 1244
CP 11300 Montevideo Uruguay
tel: 59-82-622-19 21 fax: 59-82-628-2615
jfrancom@adinet.com.uy

Delegado Venezuela
Oladis Tróconis de Rincón
Universidad del Zulia
Centro de Estudios de Corrosión
Av. Guajira Apdo.10482
Maracaibo Venezuela
tel. 58-6-151-7495 fax: 58-6-152-0717
oladis@luz.ve

Colaboradores e Membros das redes Rehabilitar Nacionais

Argentina

Alejandra Benitez
Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Aníbal Manzelli
Facultad de Ingeniería-Universidad de Buenos Aires
Claudio Macchi
Facultad de Ingeniería-Universidad de Buenos Aires
Enrique De Luca
Facultad de Ingeniería- Universidad de Buenos Aires
Geraldine Charreau
Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Luis Fernández Luco
Facultad de Ingeniería-Universidad de Buenos Aires
Maria Positieri
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional de Córdoba
Néstor Guitelman
Facultad de Ingeniería -Universidad de Buenos Aires
Noemí Graciela Maldonado
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional de Mendoza
Rafael Arroyo
Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Walter Morris
Investigador CONICET y CNEA

Brasil

Antônio Carmona filho
Exata Engenahria
Antônio Nepomuceno
Universidade de Brasíli
Armando Carneiro
Universidade de Pernanbuco
Ary Fonseca
Associação Brasileira do Cemento Portland
Carlos Eduardo de Siqueira Tango
Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Djalma Ribeiro
Universidade Federal de Rio Grande do Norte
Eliana Monteiro
Universidade de Pernambuco
Emidio Bezerra
UNIFOR
Enrique Kenny
Grace Construction Products
Ércio Thomaz
Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Fernando Matias
MBT Brasil
Francisco Carvalho
Universidade Federal de Ceará
Gerardo Cechella Isaia
Universidade Federal de Santa Maria
Hênio Tinoco
Universidade Pontiguar
Jefferson Libório
Universidade de São Paulo São Carlos
João Luis Calmon Nogueira da Gama
Universidade Federal do Spirito Santo
Leonel Tula
Universidade de São Paulo
Luis Antônio Martins Filho
Associação Brasileira do Cemento Portland
Maristela Gomez da Silva
Universidade Federal do Espirito Santo
Paulo Eduardo Barbosa
Universidade de São Paulo
Ronaldo Meyer
Associação Brasileira do Cemento Portland
Rubens Bittencourt
Furnas
Salomón Mony Levy
Centro Universitário Nove de Julho
Telma Salgado Villela
Instituto Nacional de Tecnologia RJ

Colômbia

Lila Ashook
INCOL
Carlos Arcila
Sika Colombia
Diego Sanchéz de Guzman
Asocreto

Cuba

Eduardo J. Pérez García
Ministerio de la Construcción
Nelson Díaz
Universidad de La Havana
Pedro Tejera Garófalo
Ministerio de la Construcción
Juan Mario Junco del Pino
Ministerio de la Construcción
Ricardo Pérez Suero
Relaciones Internacionales - Ministerio de la Construcción

Espanha

Cesar Díaz
Universitat Politécnica de Catalunya
José Calavera Ruiz
INTEMAC
Luis Agulló
Universitat Politécnica de Catalunya
Manuel Fernández Cánovas
Universidad Politécnica de Madrid
Marta Castellote Armero
Instituto Eduardo Torroja
Vicente Alegre
Universitat Politécnica de Catalunya
Xavier Casanovas
Universitat Politécnica de Catalunya

México

Andrés Torres
Instituto Mexicano de Transporte
Eric Moreno
Universidad de Yucatán
Mariana Lara
Universidad de Yucatán
Mercedes Balancán
Universidad de Yucatán
Miguel A. Quintal Uicab
Universidad de Yucatán
Miguel Martínez
Instituto Mexicano del Transporte

Portugal

Arlindo Gonçalvez
Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Manuela Salta
Laboratório Nacional de Engenharia Civil

República Dominicana

Manuel Grullón
Grullón-Schiffino & Asociados
Martin Abbott
Instituto Tecnológico de Santo Domingo
Máximo Corominas
Instituto Tecnológico de Santo Domingo

Uruguai

Adriana Gambogi
Pinturas Industriales S. A
Alberto Ponce Delgado
Ministério de Transporte y Obras Públicas
Dirección Nacional de Vialidad
Alejandra García Assis
Sociedad de Arquitectos del Uruguay
Andréa Francisco
Facultad de Arquitectura
Cecília Reggiardo Valli
Sociedad de Arquitectos del Uruguay
César Azambuya
Sociedad de Arquitectos del Uruguay
Edith Camejo
Ministério de Transporte y Obras Públicas
Dirección Nacional de Arquitectura
Fernanda Pereira Campos
Ministério de Transporte y Obras Públicas
Dirección Nacional de Arquitectura
Fernando Bedouchau
Sociedad de Arquitectos del Uruguay
Gabriel González
Sika Uruguay
Javier García
Megasitio
Leonaro López
Banco Hipotecário
Rusé Gonzaléz
Sika Uruguay
Susana García
Ministerio de Transporte y Obras Públicas

Venezuela

Miguel A. Sanchez Gómez
Universidad del Zulia
Liana de Bustillos
Univ. Centroocc "Lisandro Alvarado"
Eduardo Chollet
Univ. Centroocc "Lisandro Alvarado"
Angelo Tiso
Univ. Centroocc "Lisandro Alvarado"
Emilia Anzola
Univ. Centroocc "Lisandro Alvarado"
Andreina Vargas
Universidad del Zulia
Angel Espinoza
Tecnocrete Venezuela
Daniel Contreras
Universidad del Zulia
Daniel Prado
MBT de Venezuela
Isabel Hernández
Euclid Chemical Company
José Bravo
Universidad del Zulia

PREFÁCIO

Este é mais um resultado do esforço dos especialistas ibero-americanos em resposta a problemas que, relacionados à infra-estrutura construída, revestem-se de suma importância para a economia, bem estar e segurança de nossas comunidades, implicando ações das administrações públicas, empresas e governos. Grande quantidade de recursos financeiros são disponibilizados anualmente para contemplar os reparos necessários em edifícios, pontes, viadutos, estradas, portos, aeroportos e outras obras de menor porte.

Esta iniciativa, pode-se dizer que fazia parte de uma trajetória prevista com início, meio e fim. A idéia era abordar a questão da corrosão e manifestações patológicas a esta associadas em estruturas de concreto armado. Para tanto, tornava-se necessária uma abordagem sistêmica, partindo-se de uma inspeção e avaliação criteriosa para chegar-se a um diagnóstico, o mais confiável possível, e daí então a uma cura ou reabilitação com terapia e intervenção adequada.

Como ninguém sai do médico com um diagnóstico provável e sem uma indicação de terapia ou de intervenção, era quase que nossa obrigação dizer como tratar a estrutura. Acredito que se isso não fosse feito, teríamos hoje uma certa frustração. Foi daí que nasceu a proposta da Red Rehabilitar CYTED XV.F "Rehabilitación de Estructuras de Hormigón" que, dirigida por um dos maiores especialistas de renome internacional nesta especialidade, o Prof. Paulo Helene, da Universidade de São Paulo, conseguiu abrigar outros não menos importantes colegas de universidades, instituições de pesquisa e empresas da região.

A iniciativa de se fazer este Manual teve, assim, início no final da década de 90 e foi concretizada em uma primeira reunião que aconteceu em Santiago de Chile, no ano 2000, com o estabelecimento da Red Rehabilitar no âmbito do Subprograma XV, "Corrosão e Impacto Ambiental sobre os Materiais", àquela época sob a minha coordenação. Por este motivo, sinto-me, de certa forma, cúmplice desta feliz idéia que deixou de ser um sonho e honrado de poder ter participado da formatação inicial da proposta e de algumas proveitosas reuniões, aonde sempre reinou o clima de amizade e entendimento.

Para terminar, parabenizo aos meus queridos amigos da Rehabilitar e todos aqueles que contribuiriam direta e indiretamente para com esta obra. Tenho certeza de que se sentirão orgulhosos pela qualidade técnica dos conceitos aqui apresentados. São estas realizações que consagram o CYTED, hoje, como o maior programa de cooperação internacional em Ciência e Tecnologia.

Saludos e saudações ibero-americanas. Que sigan en línea!

Dr. Leonardo Uller
Secretário Adjunto
Programa CYTED

PREFÁCIO

Este Manual é a cristalização de uma proposta ambiciosa e de um grande desafio.

Um primeiro encontro em Santiago do Chile no ano 2000, sob os auspícios do CYTED, serviu para organizar a equipe de trabalho e canalizar o entusiasmo de um grupo de colaboradores voluntários e especialistas de diferentes países ibero-americanos. Naquela ocasião, persuadidos da importância que a patologia e a recuperação das estruturas de concreto adquiriram no mundo, decidimos desenvolver o assunto como um texto conceitualmente simples e prático.

A amplitude e complexidade do assunto reparo, reforço e proteção tornava necessário encontrar um fio condutor comum, uma sistematização do processo, sem deixar de abordar a totalidade do fenômeno. Partindo do conhecimento das ações que podem atuar sobre as estruturas e dos mecanismos de deterioração possíveis, pode-se identificar a falha, decidir uma proposta de recuperação, estimar seu custo e controlar a qualidade de execução.

Para concretizar esta aspiração sob a forma de um Manual de aplicação prático, seria imprescindível encontrar um equilíbrio entre os conteúdos científicos e técnicos, conhecer o comportamento das estruturas e dos materiais que as compõem e a variedade de produtos e equipamentos que a indústria oferece para poder orientar o usuário quanto à correta técnica de aplicação.

Neste Manual, as pesquisas mais modernas e o estado da arte simplificaram sua linguagem e sua expressão para alcançar o concreto e específico da prática, com inúmeras fotos, desenhos e esquemas que visam identificar conceitos que exigiriam análises e estudos complexos. Uma importante relação bibliográfica que complementa cada capítulo permitirá ao leitor aprofundar-se nos diversos assuntos.

Como toda criação que se apresenta à sociedade não pertence a seus autores, cabe a esta dar-lhes o lugar e o valor que cada um mereça.

A nossa esperança é de que se constitua em um elemento de utilidade e de aplicação concreta para recompor adequadamente obras de concreto, otimizando e extendendo o uso dos bens que a sociedade dispõe, o que seria a melhor retribuição ao trabalho realizado.

Já vão longe os estímulos de Leonardo Uller, as discussões das propostas com o Paulo Helene, o intercâmbio de trabalhos, de informação e as opiniões de todos.

Fica uma incalculável amizade entre os redatores, o sentimento do dever cumprido e o desejo de mostrar um caminho. O trabalho acordado entre grupos de pesquisadores, docentes e profissionais experientes de diferentes lugares do mundo para abordar assuntos onde, como neste manual, a interdisciplina, o específico e o genérico, o científico e o técnico compartem espaços por igual para dar à luz uma ferramenta de aplicação concreta.

Engº Raúl Husni
Professor Titular da Faculdade de Engenharia da Universidade de Buenos Aires

PRÓLOGO

A infra-estrutura nos países ibero-americanos está se degradando rapidamente por efeito do meio ambiente, por projetos com erros e insuficiência de detalhes, por problemas congênitos de supervisão (fiscalização) ineficiente durante a construção, por ausência de manutenção e, principalmente, pela idade avançada das construções que vêm servindo a nossa sociedade ao longo do tempo.

Este não é um problema isolado dos países ibero-americanos, mas também representou importante investimento nos países desenvolvidos nos últimos 15 a 20 anos. Trata-se de manter o patrimônio construído, e ainda fazê-lo de forma consciente, econômica e durável. As estatísticas mais recentes mostram que nos Estados Unidos mais de 31 % do total de investimentos na construção civil é destinado a obras de recuperação, e não deve ser diferente em outros países, embora não se disponha ainda de estatísticas confiáveis.

Por outro lado, dentro das diversas matérias do curso de Engenharia, tais como projeto, materiais, estabilidade das construções e patologia, a recuperação estrutural talvez seja uma das mais defasadas. Não se conhece o material apropriado, nem os melhores procedimentos; não há também normas técnicas em quantidade e qualidade suficientes para auxiliar os responsáveis pelas tarefas de manutenção e recuperação das estruturas.

A recuperação das estruturas de concreto armado e protendido é uma atividade complexa que exige um conhecimento profundo do comportamento dos materiais e das técnicas executivas. Executar com sucesso um reparo, uma proteção ou um reforço estrutural representa, em geral, um novo desafio para os engenheiros e arquitetos.

Sendo a Engenharia uma disciplina milenar, boa parte da prática construtiva em obras civis resulta do acúmulo de experiências anteriores, nas quais houve algum êxito. Ocorre que essa experiência anterior foi adquirida através da observação do comportamento de obras novas, de obras em fase de construção ou acabamento. Tal experiência acumulada, no entanto, não se aplica ao caso da união de concreto velho, endurecido ou deteriorado a concreto novo, não ajuda a entender o processo de proteção de um inibidor químico de corrosão de armaduras, não se aplica ao caso da união de epóxi a concreto, não orienta como preencher vazios sem retração nem como reforçar uma viga a cortante, só para citar algumas atividades típicas de recuperação de estruturas.

Por outro lado, as atividades de operação e manutenção de estruturas de concreto têm sido relegadas a segundo plano devido à idéia errada de que o concreto é eterno. Os currículos das escolas de Engenharia ainda são acanhados, e a maioria não inclui os conceitos e práticas básicos de inspeção, diagnóstico, estudo de alternativas e projeto de intervenção. Modelos de quantificação e previsão da

vida útil de estruturas vêm sendo introduzidos na normalização internacional desde a última década, e ainda assim deixam muito a desejar.

Sem experiência anterior acumulada e sem uma formação acadêmica sólida e atualizada, o resultado tem sido decepcionante; a durabilidade e desempenho de obras antigas e novas e das próprias intervenções em obras precocemente deterioradas têm sido efêmeros com custos elevados e intervenções repetitivas e freqüentes.

Esta situação, que é mundial, tem causado apreensão nos países desenvolvidos e com maior número de obras em idade avançada. A Comunidade Européia e os Estados Unidos têm destinado montantes significativos dos recursos disponíveis para pesquisa em construção civil na área de patologia e recuperação de estruturas. Nos Estados Unidos é conhecido o programa SHRP *Strategic Highway Research Program* promovido pela National Science Foundation após a análise do NMAB-437 no relatório "*Report on Concrete Durability: A Multibillion-Dolar Opportunity*" publicado em 1987. Deste informe derivaram expressivas pesquisas em um prazo de mais de dez anos, reunindo universidades e centros de pesquisas na busca de um correto diagnóstico dos problemas de deterioração natural e precoce das estruturas de concreto para viabilizar soluções seguras e duráveis.

Também na Europa, mais recentemente, no novo milênio, foi iniciada a *European Thematic Network on Concrete Repair*, liderada pelo BRE na Inglaterra, cujo principal objetivo é introduzir o conceito de desempenho e vida útil como instrumento de avaliação das soluções de intervenção, reunindo vários centros de pesquisas, o setor produtivo e de consultoria de diferentes países europeus.

A necessidade de unir esforços, conhecimentos e experiências disponíveis em centros de pesquisas, de profissionais e também do setor produtivo (este foi determinante) motivou a formação da Rede Rehabilitar, que deu início a seus trabalhos em abril de 2000 na cidade de Santiago do Chile. Naquela ocasião, reuniram-se delegados representantes de vários países ibero-americanos que acordaram compartilhar seus conhecimentos e experiências para a elaboração de um Manual de Recuperação de Estruturas de Concreto com práticas, materiais e condições próprias e comuns a esses países.

Esse intercâmbio e reunião de forma organizada do conhecimento tem sido realizado sistematicamente nos últimos 4 anos através de encontros anuais e plenários dos delegados, reuniões parciais e muito diálogo via Internet. Um dos produtos desse conhecimento e trabalho realizado é este Manual. Para a transferência do conhecimento, a Rede Rehabilitar também realizou a formação de profissionais e a divulgação de atividades através de cursos, conferências e a participação em eventos nacionais e internacionais. Atividades dessa natureza foram realizadas nos doze países participantes, abrangendo em torno de 521 participantes.

Programas como o da Rede Rehabilitar, que apóia econômica, logística, técnica e cientificamente os projetos, tornam possível uma aproximação entre os diferentes países contribuindo principalmente para:

Conhecer melhor o problema nas comunidades dos países participantes;

A formação de recursos humanos capacitados para enfrentar o problema;

A vinculação com associações importantes, líderes na abordagem do problema para que, conjuntamente, levem os resultados aos usuários;

Despertar interesse e consciência, com o peso e o prestígio da Rede e do CYTED, entre corpos colegiados, organismos de ciência e tecnologia, setor empresarial e setor governamental.

O trabalho apresentado é o resultado da contribuição voluntária dos maiores especialistas ibero-americanos em recuperação de estruturas de concreto, reunidos sob os auspícios do importante CYTED, Programa Ibero-Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento, idealizado na Espanha em 1984, e contando hoje com o apoio dos ONCYTs - organismos de ciência e tecnologia- de todos os 21 países ibero-americanos.

A Rede Rehabilitar é parte do Subprograma XV Corrosão e Impacto Ambiental sobre os Materiais e se compõe de 13 delegados representantes da Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Cuba, Espanha, México, Paraguai, Peru, Portugal, Uruguai e Venezuela. Além desses responsáveis diretos pela redação deste Manual, muitos outros especialistas -mais de 50- participaram e trouxeram sua experiência e conhecimento através da participação nas chamadas Redes Rehabilitar nacionais (locais), que reúnem os especialistas de cada país com a intenção de difundir este trabalho e também aprimorá-lo.

Este Manual, produto do grupo, conseguiu alcançar o objetivo principal desta Rede Rehabilitar que foi transformar o conhecimento existente e disperso sobre materiais e técnicas de intervenção em estruturas de concreto para correção de problemas patológicos, em um Manual prático e objetivo que possa ser utilizado pelo meio técnico de forma geral e irrestrita.

Neste Manual, o profissional da área pode encontrar a maioria das respostas a suas perguntas sobre que ações considerar nos trabalhos de recuperação; como elaborar um diagnóstico preliminar dos problemas, o que analisar para optar pela melhor solução, quais são os materiais e sistemas de recuperação, como fazer o preparo e limpeza do substrato, quais são os procedimentos corretos de reparo em geral, de proteção de armaduras e de reforço estrutural, como contratar os trabalhos, como implantar um sistema de controle de qualidade e critérios de recepção. Finaliza apresentando um glossário de termos técnicos e uma relação completa de publicações relacionadas ao assunto para facilitar a vida daqueles que desejam continuar aprofundando seus conhecimentos.

Cada capítulo apresentado aqui passou por um criterioso processo de decisão de conteúdo e formato durante esses últimos anos, em cada uma das reuniões plenárias e também pela Internet. Embora tenham seguido um formato padrão na redação dos capítulos, os autores tiveram a liberdade de modificar seus trabalhos, de tal maneira que pudessem apresentar da melhor forma sua contribuição. A organização final do Manual foi trabalho e responsabilidade deste Coordenador e da Arquiteta Fernanda Pereira que, desde o início da Rede Rehabilitar formatou as diretrizes de como deveriam ser apresentados os textos, as figuras, as fotos, os gráficos, as tabelas, embora nem sempre respeitadas pela maioria dos autores.

Cada capítulo é responsabilidade de seus autores no que diz respeito ao conteúdo. A forma é de responsabilidade dos editores. O escrito nesses capítulos também não representa necessariamente os pontos de vista das instituições a que pertencem os autores nem do CYTED e CMPC. Devido ao caráter de difusão desta obra, os autores têm a liberdade de publicar seus resultados usando outro formato, parcial ou completo, fazendo necessariamente aparecer os créditos correspondentes a esta fonte.

Da mesma forma, o uso correto e inteligente deste Manual será um privilégio dos profissionais que o utilizarem, enquanto que o uso inadequado e as conseqüências desastrosas de tal mau uso não são responsabilidade dos autores ou dos editores.

Agradecemos as contribuições e críticas construtivas que possam melhorar este trabalho e, em nome de todos os membros da Rede Rehabilitar, desejamos reparos úteis e duradouros.

São Paulo, Setembro de 2003.

Arq. Fernanda Pereira
MSc. Patologia das Construções
Instituto Eduardo Torroja
Engº. Paulo Helene
Prof. Titular da Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo

ABSTRACT

Concrete Rehabilitation Manual

Repair, Strengthening, and Protection

Red Rehabilitar

Ibero-American Network on Rehabilitation of Concrete Structures

There are many reasons for the need of knowledge on structural rehabilitation and protection of concrete. During the last 20 years the international concrete community dedicated most of their research programs to better understand the mechanisms of concrete deterioration. Nowadays there is much more knowledge about the influence of environmental aggressiveness over concrete structures and it is clear the need to understand better how to repair and protect concrete structures.

The number of old concrete structures is quickly increasing in many countries. Not only the aggressiveness of the environment can reduce the service life of concrete structures, but also the environmental action combined with poor design, bad materials, careless construction, and poor maintenance can reduce dramatically the service life of the countries infrastructure, such as: bridges, viaducts, industries, piers and buildings.

For all these reasons a high number of structures show pathological problems that need correction and important actions for repair, strengthening and protection, some times much earlier than the desired service life. In the other hand there are many new materials and systems for repair, strengthening and protection of concrete structures, but so not as many ways to properly evaluate the future performance of these options.

In fact, the therapy of concrete structures is a new subject and not very well known in the civil engineering field. Unfortunately in many cases there is not much success in the rehabilitation jobs, which again present problems in a short period of time after correction. There are very few technical-scientifical publications about this subject. Practically there is no international agreement that allows producing an effective and strong standard about rehabilitation and protection of concrete structures.

The International Ibero-American Network on Rehabilitation of Concrete Structures (Red Rehabilitar) had a goal to transform the knowledge already existing and scattered about materials and systems for repair, strengthening and protecting of concrete structures into a "Practical Manual". This book was written in scientific style but in useful language and illustrated version that could be used by designers, architects, contractors, owners and technicians in general, offering solutions to the major problems in the maintenance and rehabilitation of concrete structures.

The International Ibero-American Network on Rehabilitation of Concrete Structures (Red Rehabilitar) belongs to "CYTED Ibero-American Science and Technology Program for Development" conducted by Spain in collaboration with all Ibero-American countries through their research councils. Forty experts from twelve countries have contributed with their knowledge and experience to the *Red Rehabilitar* target. The results you can appreciate here.

ÍNDICE GERAL

Introdução

Introdução

Autores
Paulo Helene

Enio Pazini Figueiredo

O concreto de cimento Portland tem provado ser o material de construção mais adequado para estruturas, supe-rando com larga vantagem outras alternativas viáveis, como madeira, aço ou alvenaria.

Desde o início do emprego do concreto armado, em meados do século XIX, as edificações, obras de arte, rodovias, canais, barragens e tantas outras construções civis em concreto simples, armado ou protendido têm resistido às mais variadas sobrecargas e ações do meio ambiente.

Embora o concreto possa ser considerado um mate-rial praticamente eterno - desde que receba manutenção sistemática e programada - há construções que apresentam manifestações patológicas em in-tensidade e incidência significativas, acarretando elevados custos para sua correção. Sempre há comprometimento dos aspec-tos estéticos e, na maioria das vezes, redução da capacidade resistente, podendo chegar, em certas situações, ao colapso parcial ou total da estrutura.

Frente a essas manifestações patológicas observa-se, em geral, um descaso inconseqüente, que leva a simples reparos superficiais ou, inversamente, a demolições ou reforços injustificados. Os dois extremos são desaconselháveis, uma vez que há, hoje em dia, conhecimento tecnológico e uma elevada gama de técnicas e produtos desenvolvidos especificamente para solucionar problemas patológicos, conforme alguns exemplos apresentados nas fotos 1, 2, 3 e 4.

Tendo em vista o conhecimento atual dos processos e mecanismos destrutivos que atuam sobre as estruturas e considerando a grande evolução tecnológica dos últimos anos – com o desenvolvimento de equipamentos e técnicas de observação de estruturas – é perfeitamente possível diagnosticar com êxito a maioria dos problemas patológicos.

Este Manual de Recuperação de Estruturas de Concreto foi elaborado pelos maiores especialistas ibero-americanos[1] no assunto para servir de guia técnico que oferece a solução da maioria dos problemas enfrentados pelos arquitetos e engenheiros trabalhando em projetar, construir, diagnosticar, supervisar e conservar as nossas obras civis, em suma, trabalhando em manter o patrimônio construído em nossos países.

Contudo, o Manual não dispensa o especialista em patologia, que é quem formula o diag-nóstico correto do problema - chave do sucesso da correção - nem prescinde do controle de qualidade da execução propriamente dita, que deve ser efetuado por equipes multidisciplinares de laboratórios de ensaios e controle.

Isto significa dizer que este Manual deve ser utilizado e consultado por profissionais responsáveis que conheçam o assunto ou sejam assessorados por especialistas, de modo a efetivamente obter o melhor resultado em suas intervenções em estruturas de concreto que necessitem manutenção, correções, reforços ou proteção no começo ou ao longo de sua vida útil.

Foto 1. Ruptura de pilar de ponte rodoviária por cisalhamento devido a empuxo ocasionado por deslizamento de terra (Curitiba, Paraná)

Para padronizar a linguagem, vale a pena recordar que a **Patologia** pode ser entendida como a parte da Engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o **diagnóstico** do problema.À **Terapia** cabe estudar a correção e a solução desses problemas patológicos, inclusive aqueles devidos ao envelhecimento natural. Para obter êxito nas medidas terapêuticas de correção, reparo, reforço ou proteção, é necessário que não apenas o estudo precedente, o diagnóstico da questão, tenha sido bem conduzido, mas principalmente que se

[1]N.T.: Os especialistas referidos são representantes da Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Cuba, Espanha, México, Paraguai, Peru, Portugal, Uruguai e Venezuela. A **MBT/Degussa** atua diretamente ou via operações vizinhas em todos esses países.

conheça muito bem as vantagens e desvantagens dos materiais, sistemas e cada um dos procedimentos de recuperação de estruturas de concreto, pois para cada situação particular existe uma melhor alternativa de intervenção.

Foto 2. Corrosão de armaduras por cloretos em apoio de ponte rodoviária de concreto em zona marítima (Recife, Pernambuco)

Foto 3. Intervenção inadequada, na face inferior de laje, agravando ainda mais o problema inicial Coletor de Águas Servidas e Pluviais (Montevidéu, Uruguai)

Foto 4. Corrosão de cabos galvanizados de protensão em vigas longitudinais da superestrutura de ponte rodoviária (Maldonado, Uruguai)

O **diagnóstico** adequado e completo é aquele que esclarece todos os aspectos do problema, a saber:

Sintomas

Os problemas patológicos, salvo raras exceções, apresentam manifestação externa característica, a partir da qual pode-se deduzir qual a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos, assim como pode-se estimar suas prováveis conseqüências. Esses sintomas, tambem denominados lesões, danos, defeitos ou manifestações patológicas, podem ser descritos e classificados, orientando um primeiro diagnóstico, a partir de minuciosas e experientes observações visuais.

O Capítulo 2 deste manual, que apresenta um guia para diagnóstico e correção dos problemas, indica a correspondente manifestação típica e apresenta os possíveis diagnósticos.

Os sintomas mais comuns, de maior incidência nas estruturas de concreto, são as fissuras, as eflorescências, as flechas excessivas, as manchas no concreto aparente, a corrosão de armaduras e os ninhos de concretagem (segregação dos materiais constituintes do concreto).

Conforme apresentado na Figura 1, certas manifestações têm elevada incidência como as manchas superficiais - embora, do ponto de vista das conseqüências quanto ao comprometimento estrutural e quanto ao custo da correção do problema, uma fissura de flexão ou a corrosão das armaduras sejam mais significativas e graves.

Mecanismo

Todo problema patológico, chamado em linguagem jurídica de vício oculto, vício de construção ou dano oculto, ocorre a partir de um processo, de um mecanismo. Por exemplo: a corrosão de armaduras no concreto armado é um fenômeno de natureza eletroquímica, que pode ser acelerado pela

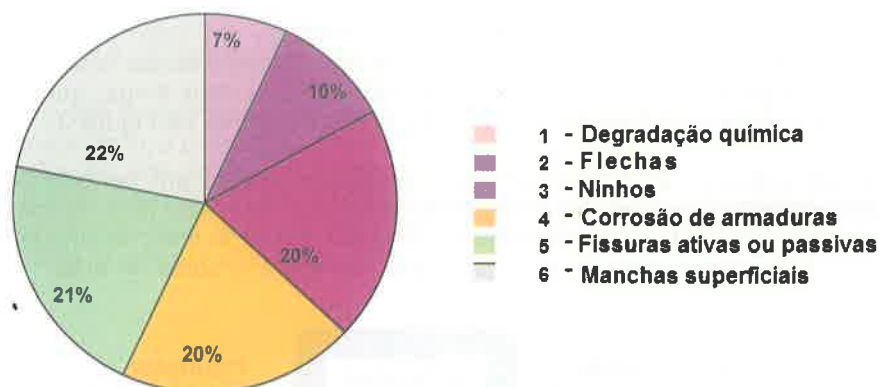



Figura 1. Distribuição relativa da incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto arquitetônico.

presença de agentes agressivos externos, do ambiente, ou internos, incorporados ao concreto.

Por exemplo, para que a corrosão se manifeste é necessário que haja oxigênio (ar), umidade (água) e o estabelecimento de uma célula de corrosão eletroquímica (heterogeneidade da estrutura), que só ocorre após a despassivação da armadura, conforme se vê na Figura 2.

Figura 2. Célula de corrosão eletroquímica em concreto armado

Conhecer o mecanismo do problema é fundamental para uma terapêutica adequada. É imprescindível, por exemplo, saber que devem ser limitadas as sobrecargas ou cimbrar a estrutura antes ou durante o reforço das vigas quando as fissuras são conseqüência, por exemplo, de momento fletor. Neste caso, não basta a injeção das fissuras, pois estas poderiam reaparecer em posições muito próximas das iniciais.

Origem

O processo de construção e uso pode ser dividido em cinco grandes etapas: planejamento, projeto, fabricação de materiais e componentes fora do canteiro, execução propriamente dita e uso, esta última etapa mais longa, que envolve a operação e manutenção das obras civis, conforme se vê na Figura 3.

Se, por um lado as quatro primeiras etapas envolvem um período de tempo relativamente curto - em geral menos de dois anos - por outro lado, as construções devem ser utilizadas durante períodos longos - em geral mais de cinqüenta anos para edificações e mais de duzentos para barragens e obras de arte.

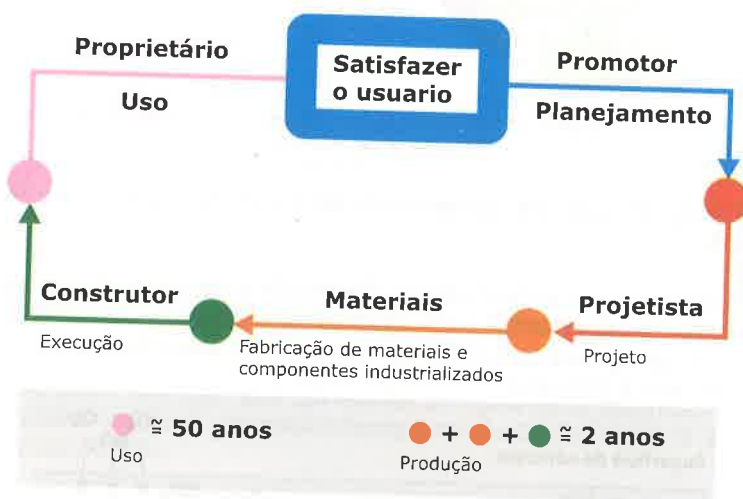



Figura 3. Etapas de produção e uso das obras civis

Os problemas patológicos só se manifestam durante a construção ou após o início da execução propriamente dita, a última etapa da fase de produção. Normalmente ocorrem com maior incidência na etapa de uso. Certos problemas, como por exemplo os resultantes de reações álcali-agregados, só aparecem com intensidade após mais de seis anos. Há casos de corrosão de armadura em lajes de forro/piso de apartamentos que se manifestaram intensamente, inclusive com colapso parcial, depois de apenas treze anos de uso do edifício.

Um diagnóstico adequado do problema deve indicar em que etapa do processo construtivo teve origem o fenômeno. Por exemplo, uma fissura de momento fletor em vigas tanto pode ter origem num projeto inadequado, quanto na

qualidade inferior do aço usado; tanto na má execução com concreto de resistência inadequada, quanto na má utilização, com a colocação sobre a viga de cargas superiores às previstas inicialmente. Para cada origem do problema há uma terapia mais adequada, embora o fenômeno e os sintomas possam ser os mesmos.

Cabe ressaltar que a identificação da origem do problema permite também identificar, para fins judiciais, quem cometeu a falha. Assim, se o problema teve origem na fase de projeto, o projetista falhou; quando a origem está na qualidade do material, o fabricante errou; se na etapa de execução, trata-se de falha na mão-de-obra e a fiscalização ou a construtora foram omissos; se na etapa de uso, a falha é da operação e manutenção.

Uma elevada porcentagem das manifestações patológicas têm origem nas etapas de planejamento e projeto, conforme mostra a Figura 4. As falhas de planejamento e projeto são, em geral, mais graves que as falhas de qualidade dos materiais ou de má execução. É sempre preferível investir mais tempo no detalhamento e estudo da estrutura que, por falta de previsão, tomar decisões apressadas ou adaptadas durante a execução.

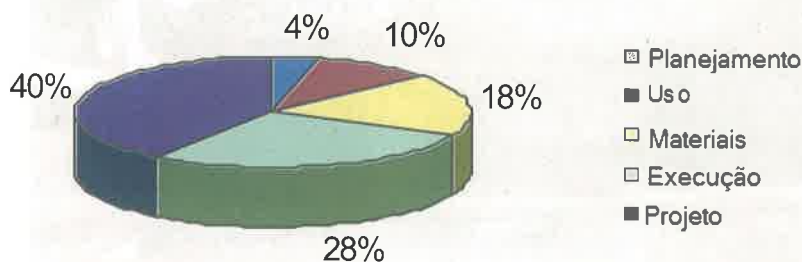



Figura 4. Origem dos problemas patológicos com relação às etapas de produção e uso das obras civis

Causas

Os agentes causadores dos problemas patológicos podem ser vários: cargas, variação da umidade, variações térmicas intrínsecas e extrínsecas ao concreto, agentes biológicos, incompatibilidade de materiais, agentes atmosféricos e otros.

No caso de uma fissura em viga por ação de momento fletor, o agente causador é a carga - se não houver carga, não haverá fissura - qualquer que seja a origem do problema. Já fissuras verticais nas vigas podem ter como agentes causadores tanto a variação da umidade - retração hidráulica por falta de cura - quanto gradientes térmicos resultantes do calor de hidratação do cimento, ou gradientes térmicos resultantes de variações diárias e anuais da temperatura ambiente. Evidentemente, a cada causa corresponderá uma terapia mais adequada e mais duradoura.

Conseqüências e oportunidade da intervenção

Um bom diagnóstico se completa com algumas considerações sobre as conseqüências do problema no comportamento geral da estrutura, ou seja, um prognóstico da questão. De forma geral, costuma-se separar as considerações em dois tipos: as que afetam as condições de segurança da estrutura (associadas ao estado limite último) e as que comprometem as condições de higiene, estética, etc., ou seja, as denominadas condições de serviço e funcionamento da edificação (associadas aos estados limites de utilização).

Foto 5. Recuperação de estrutura de concreto danificada por corrosão de armadura devida a carbonatação (São Paulo, SP)

Em geral os problemas patológicos são evolutivos e tendem a se agravar com o passar do tempo, além de acarretarem outros problemas associados ao inicial. Por exemplo: uma fissura de momento fletor pode dar origem à corrosão de armadura; flechas excessivas em vigas e lajes podem acarretar fissuras em paredes e deslocamentos em pisos rígidos apoiados sobre os elementos fletidos (vide fotos 5 e 6).

Pode-se afirmar que as correções serão mais duráveis, mais efetivas, mais fáceis de executar e muito mais econômicas quanto mais cedo forem ejecutadas. A demostração mais expressiva desta afirmação é a chamada «lei de Sitter» que mostra os custos crescendo segundo uma progressão geométrica.

Foto 6. Corrosão de armaduras por ação de cloretos em ponte rodoviária (Mongaguá, Brasil)

Dividindo as etapas construtivas e de uso em quatro períodos correspondentes ao projeto, à execução propriamente dita, à manutenção preventiva efetuada antes dos cinco primeiros anos e à manutenção corretiva efetuada após o surgimento dos problemas, a cada uma corresponderá um custo que segue uma progressão geométrica de razão cinco, conforme indicado na Figura 5.

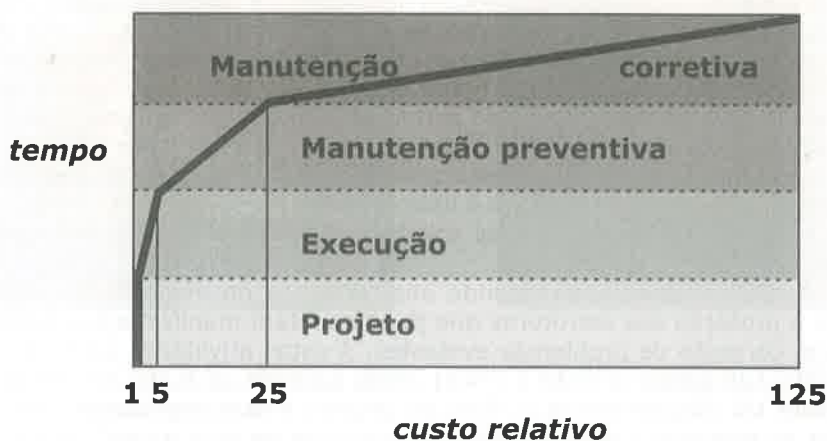



Figura 5. Lei de evolução de custos, lei de Sitter (Sitter, 1984 CEB RILEM)

Uma interpretação adequada de cada um desses períodos ou etapas de obra pode ser a seguinte:

Projeto: toda medida tomada a nível de projeto com o objetivo de aumentar a proteção e a durabilidade da estrutura, como por exemplo, aumentar o cobrimento da armadura, reduzir a relação água/cimento do concreto, especificar tratamentos protetores superficiais, escolher detalhes construtivos adequados, especificar cimentos, aditivos e adições com características especiais e outras, implica um

custo que pode ser associado ao número 1 (um) do eixo Custo Relativo no gráfico da Figura 5.

Execução: toda medida extraprojeto, tomada durante a execução propriamente dita, incluindo nesse período a obra recém-construída, implica um custo 5 (cinco) vezes superior ao custo que teria sido acarretado se esta medida tivesse sido tomada a nível de projeto, para obter-se o mesmo «grau» de proteção e durabilidade da estrutura. Um exemplo típico é a decisão em obra de reduzir a relação água/cimento do concreto para aumentar sua durabilidade e a proteção à armadura. A mesma medida tomada durante o projeto permitiria o redimensionamento automático da estrutura, considerando um concreto de resistencia à compressão mais elevada, de menor módulo de deformação, de menor deformação lenta e de maiores resistências a baixas idades. Essas novas características do concreto acarretariam a redução das dimensões dos componentes estruturais, economia de fôrmas, redução de taxa de armadura, redução de volumes e peso próprio, etc. Esta medida tomada em obra, apesar de eficaz e oportuna do ponto de vista da durabilidade, não mais pode proporcionar alteração para melhor dos componentes estruturais que já foram definidos anteriormente no projeto estrutural e portanto pode representar um custo 5 vezes maior.

Manutenção preventiva: toda medida tomada com antecedência e previsão, durante o período de uso e manutenção da estrutura, pode ser associada a um custo 5 (cinco) vezes menor que aquele necessário para a correção dos problemas gerados a partir de uma intervenção não prevista tomada diante de uma manifestação explícita e irreversível de uma patologia qualquer. Ao mesmo tempo estará associada a um custo 25 (vinte e cinco) vezes superior àquele que teria acarretado uma decisão de projeto para obtenção do mesmo «grau» de proteção e durabilidade da estrutura. Como exemplo pode-se citar a remoção de fuligem ácida e a limpeza das fachadas, estucamento e/ou reestucamento das superfícies aparentes, pinturas com vernizes e hidrofugantes, renovação ou construcción de rufos, pingadeiras, beirais, «brise soleils» e outras medidas de proteção.

Manutenção corretiva: corresponde aos trabalhos de diagnóstico, pronóstico, reparo e proteção das estruturas que já apresentam manifestações patológicas, ou seja, correção de problemas evidentes. A estas atividades pode-se associar um custo 125 (cento e vinte e cinco) vezes superior ao custo das medidas que poderiam ter sido tomadas a nível de projeto e que implicariam um mesmo «grau» de proteção e durabilidade que se estime da obra a partir da correção.

Segundo SITTER, colaborador do CEB-FIP (Comité Euro-Internacional du Béton), formulador dessa lei de custos amplamente citada em bibliografias específicas da área, adiar uma intervenção significa aumentar os custos diretos em progressão geométrica de razão 5 (cinco), o que torna ainda mais atual o conhecido ditado popular: «não deixe para amanhã o que você pode fazer hoje», por cinco a cento e vinte cinco vezes menos.

Terapia

As medidas terapêuticas de correção dos problemas tanto podem incluir

pequenos reparos localizados, como uma recuperação generalizada da estrutura, ou reforços de fundações, pilares, vigas e lajes. É sempre recomendável que, após uma das intervenções citadas, sejam tomadas medidas de proteção da estrutura, com implantação de um programa de manutenção periódica. Esse programa de manutenção deve levar em conta a vida útil prevista, a agressividade das condições ambientes de exposição e a natureza dos materiais e medidas protetoras adotadas.

Procedimento

A escolha dos materiais e da técnica de correção a ser empregada depende do diagnóstico do problema, das características da região a ser corrigida e das exigências de funcionamento do elemento que vai ser objeto da correção. Por exemplo: nos casos de elementos estruturais que necessitam serem colocados em carga após algumas horas da execução do reparo, pode ser necessário e conveniente utilizar sistemas de base epóxi ou poliéster. Nos casos de prazos um pouco mais dilatados (dias), pode ser conveniente utilizar argamassas e grautes de base mineral e, em condições normais de solicitação (após vinte e oito dias), os materiais podem ser argamassas e concretos adequadamente dosados (vide fotos 7 e 8).

Foto 7. Reparo localizado em viga de fachada danificada por corrosão de armadura devida a carbonatação (Mérida, México)

Foto 8. Reparo localizado em base de pilar danificado por corrosão de armadura devida a cloretos (Havana, Cuba)

Projeto ou especificação técnica da Intervenção

Considera-se que o projeto ou especificação técnica de uma intervenção é a chave do sucesso de uma recuperação estrutural de concreto.

A título de exemplo, um bom projeto de recuperação deverá considerar as seguintes etapas:

1 Introdução

2 **Serviços**

2.1 Reparos localizados

- Localização e definição das áreas para inspeção
- Retirada das armaduras de pele
- Escarificação do concreto e delimitação com disco de corte
- Limpeza das armaduras
- Reconstituição da seção da estrutura

2.2 Reparo superficial

- Preparo do substrato
- Reconstituição da seção
- Cura

2.3 Reparo profundo

- Fôrmas
- Saturação do substrato
- Reconstituição da seção
- Retirada de fôrmas e acabamento do reparo
- Cura

3 MATERIAIS DE REPARO E SISTEMAS DE PROTEÇÃO SUPERFICIAL

3.1 Argamassa de Reparo

- Especificação técnica
- Controle de recepção
- Armazenagem
- Cuidados no manuseio, mistura e preparo

3.2 Graute

- Especificação técnica
- Controle de recepção
- Armazenagem
- Cuidados no manuseio, mistura e preparo

4 EQUIPAMENTOS

4.1 Disco de corte para concreto

4.2 Rompedor mecânico

4.3 Jateamento de agua

4.4 Jateamento abrasivo (com areia) úmido

4.5 Jateamento de ar

4.6 Pulverizador (de água)

4.7 Misturador de argamassa

4.8 Misturador de graute

4.9 Pulverizador para hidrofugante

5 MÃO-DE-OBRA

5.1 Distribuição das etapas do serviço

5.2 Responsabilidades, cargo e qualificação dos profissionais

- Engenheiro
- Encarregado Geral
- Encarregado dos serviços
- Encarregado da escarificação e preparo do substrato
- Encarregado do acabamento do reparo
- Encarregado do tratamento superficial
- Encarregado da aplicação do sistema de proteção
- Encarregado dos procedimentos especiais
- Técnico
- Demais profissionais

6 LICITAÇÃO

6.1 Planilha de quantitativos dos serviços

6.2 Elementos para a licitação

Serviços

Nesta seção são apresentados os tipos e as especificações para a realização dos serviços de reparo localizado, tratamento de fissuras, regularização de juntas e proteção do concreto.

Considerando o diagnóstico e o prognóstico das manifestações patológicas e as recomendações dadas na primeira fase dos trabalhos, define-se que:

- os reparos devidos a armaduras corroídas, ninhos de concretagem e desníveis deverão ser feitos localizadamente;
- as juntas de concretagem serão desbastadas e reparadas, caso necessário;
- o tratamento e proteção de toda a superfície aparente do concreto será especificado com o objetivo de impedir o acesso do dióxido de carbono, oxigênio e água, detendo o avanço da frente de carbonatação e demais fatores responsáveis pelo início e propagação da corrosão da armadura e pela lixiviação da superfície;
- o tratamento superficial e a proteção do concreto aparente não deve alterar o aspecto visual da edificação.

Materiais para reparo e sistema de proteção

Nesta seção são apresentadas as características e propriedades básicas dos

materiais que deverão ser empregados nos serviços de reparo e proteção. Poderá ser empregado qualquer material dentre os disponíveis no mercado, considerando que as características dos materiais especificadas no projeto têm que corresponder a produtos já consagrados pelo meio técnico e com eficácia comprovada em condições semelhantes de aplicação e exposição. A qualidade dos materiais e sistemas é de responsabilidade dos fabricantes e fornecedores que deverão garanti-la formalmente.

Para cada material e sistema são abordados os seguintes tópicos principais:

- *Especificações técnicas:* É feita uma descrição sucinta do material, presentando-se a composição básica e estabelecendo-se requisitos mínimos de caracterização e desempenho do mesmo.
- *Controle de recepção:* São definidos os parâmetros e ensaios para o controle de recepção dos materiais, estabelecendo-se os critérios de aceitação/rejeição, tamanho dos lotes e critérios de amostragem.
- *Acopio:* São indicados os cuidados que deverão ser tomados no acopio dos materiais.
- *Cuidados no manuseio, mistura e preparo:* São descritos os procedimentos que deverão ser tomados durante o manuseio, mistura e preparo dos materiais, visando a obtenção das suas características ótimas pela obediência aos aspectos funcionais e de segurança.

equipamentos

Nesta seção são apresentados os equipamentos básicos necessários para a execução dos serviços de reparo e proteção de concreto armado. São indicados o uso e as principais características técnicas requeridas para o emprego adequado dos equipamentos.

mão-de-obra

Nesta seção é apresentada uma «orientação» para a distribuição dos equipamentos e qualificação da mão-de-obra para a execução dos serviços de reparo e proteção das estruturas de concreto armado, tendo como principais objetivos facilitar o controle de execução e garantir uma maior qualidade dos serviços, assim como as responsabilidades do pessoal, incluindo a Fiscalização.

licitação

Nesta seção são apresentados subsídios básicos para a elaboração do Edital de Licitação pelo Interessado, sendo detalhadas as planilhas com as estimativas dos quantitativos dos serviços de recuperação da estrutura.

Conteúdo deste Manual

No Capítulo 1 são apresentados de forma ampla, incluindo os conceitos de durabilidade e vida útil, as ações que atuam sobre as estruturas de concreto durante sua existência,

considerando cargas e ações ambientais.

O Capítulo 2 foi organizado de forma tal que ajude na elaboração do diagnóstico frente as manifestações pato-lógicas usuais, indicando também as alternativas mais adequadas para a correção dos problemas. Por tratar-se de uma orientação geral, evidentemente não foi possível analisar aspectos específicos de um determinado problema ou obra, que deverão ser tratados em suas particularidades pelo especialista responsável.

O tema do Capítulo 3 é a orientação para a seleção da intervenção que fornece as diretrizes mais importantes que deverão ser levadas em conta para a escolha de uma solução.

No Capítulo 4 é apresentada uma descrição geral da natureza dos principais materiais e sistemas utilizados em repa-ros, reforços e proteção de estruturas de concreto. Por fim, são resumidos os produtos existentes, descrevendo-se suas características principais e usos recomendados, com o objetivo de auxi-liar os profissionais na seleção do produto ou sistema mais adequado para uma determinada situação. Cabe recordar que, para um mesmo problema pato-lógico, pode haver mais de uma solução.

Os procedimentos para reparo e limpeza do subs-trato são apresentados no Capítulo 5. Considera-se convenien-te destacar a importância destes procedimentos, não apenas porque influem no processo da recuperação, mas também porque muitas vezes não são do conhecimento dos profissionais. Neste capítulo são descritos os proce-dimentos para a eliminação de graxa, descontaminação do substrato, limpeza de chapas metálicas ou queima controlada da superfície do concreto.

No Capítulo 6 são apresentados os procedimentos usuais para reparar estruturas de concreto. Por razões didáticas, as correções foram apresentadas considerando-se apenas um problema patológico. Na prática, a recuperação de uma estrutura dete-riorada pode abarcar um número elevado de problemas e alternativas de soluções, e portanto para encontrar a solução adequada será necessário consultar vários pontos, conciliando de maneira planejada e inteligente cada um dos proce-dimentos indicados.

No Capítulo 7 são apresentadas as alternativas possíveis de intervenção em estruturas danificadas por corrosão de armaduras, discutindo-se as vantagens e desvantagens de cada uma delas.

O Capítulo 8 foi totalmente dedicado à apresentação de soluções de reforço de estruturas de concreto, discutindo em separado os reforços mais comuns para pilares, lajes, vigas e paredes de concreto.

O Capítulo 9 descreve os mecanismos de degradação da superfície do concreto, a natureza e característica dos principais produtos utilizados para a proteção de tais superfícies, assim como as técnicas de aplicação e os parâmetros para a manutenção preventiva e corre-tiva das fachadas, pisos e demais superfícies expostas de concreto, o denominado concreto aparente. É também apresentada uma discussão teórico-prá-tica de como pode ser planejada uma correção dos problemas patológicos derivados da corrosão das armaduras, que por sua vez é atualmente, a manifestação

de maior incidência nas obras e, sem dúvida, uma das intervenções mais caras em obras acabadas.

No Capítulo 10 o especialista poderá consultar a lista mais completa de composição de preços unitários dos 80 principais procedimentos de recuperação de estruturas. Com esta contribuição, a Red Rehabilitar espera estar contribuindo para valorizar e uniformizar os trabalhos de recuperação de estruturas, auxiliando os profissionais a ter uma idéia razoável do orçamento de uma obra de recuperação de estrutura de concreto.

No Capítulo 11 são apresentados os conceitos e a prática com exemplos de como implantar um sistema confiável de controle de qualidade em um serviço de recuperação de estrutura de concreto. Considerando a pouca quantidade e qualidade de documentos normativos a respeito do assunto, são também apresentados os critérios adequados para a recepção de materiais, sistemas, serviços e trabalhos de recuperação de estruturas.

O Capítulo 12 apresenta um primeiro esforço de construção de um glossário na área de diagnóstico e recuperação estrutural de concreto.

O Manual termina reafirmando a importância de que em todas as intervenções haja um projeto ou especificação técnica da solução e apresentando a bibliografia básica recomendável para estudos de recuperação estrutural de concreto.

CAPÍTULO 01

Ações sobre as Estruturas de Concreto

CAPÍTULO 01

Ações sobre as Estruturas de Concreto

Autores
Raúl Husni

Alejandra Benítez
Aníbal Manzelli
Claudio Macchi
Geraldine Charreau
Jorge Risetto
Luis Fernandez Luco
Néstor Guitelman
Walter Morris

Introdução

s ações sobre as estruturas de concreto são parâmetros fundamentais que devem ser considerados no projeto, porque influenciam diretamente a Durabilidade, Uso, Estabilidade e/ou Resistência da estrutura.

Por esta razão, quando nos deparamos com uma deficiência ou anomalia é imprescindível determinar a causa que a originou, muitas vezes associada a mais de uma ação.

As ações atuando sobre uma estrutura podem ser[1] de origem **Externa** (E) ou **Interna** (I) a ela; algumas dão origem a fenômenos ou processos de tipo Físico (F), Químico (Q), Mecânico (M) ou Biológico (B), e outras podem afetar ou limitar o comportamento estrutural estabelecido no projeto.

As Ações Externas podem dividir-se em:

a) Funcionais
b) Ambientais

As Ações Internas podem ser:

a) Intrínsecas
b) Induzidas ou Impostas

a) Ações Externas - Funcionais

São conseqüência da existência ou do uso da construção, e sua manifestação genérica são as cargas equivalentes que consideramos atuando sobre a estrutura.

De acordo com sua variação no tempo, dividimo-las em Estáticas ou Dinâmicas. No primeiro caso, consideramos que sua variação é suficientemente lenta de modo a não afetar o comportamento da estrutura. No segundo, não, e conseqüentemente é preciso levar em conta o efeito produzido por sua variação.

As cargas estáticas, por sua vez, podem ser:

- Estáticas
- Variáveis { Constantes / Móveis }

Exemplos típicos:

Cargas constantes ou permanentes são aquelas que atuam gerando forças de aproximadamente igual magnitude durante toda a vida da estrutura, tais como o peso próprio da estrutura e os elementos fixos incorporados a ela, contrapisos, paredes, revestimentos de pisos e abóbodas.

Por outro lado, cargas variáveis são as que podem estar presentes ou deixar de caso das sobrecargas ou cargas úteis dos edifícios residenciais, depósitos, escritórios, empuxo de terra e pressão hidrostática.

As cargas móveis também podem ou não atuar sobre as estruturas, porém quando o fazem ocupam posições distintas nas estruturas, como é o caso da grua ou dos trens de carga ferroviários.

As cargas dinâmicas podem ser:

- Dinâmicas { Periódicas / Não periódicas }
- Instantâneas

---

[1]N.T.: Em termos de normas técnicas, as normas brasileiras classificam as **ações** conforme sua variabilidade no tempo. Assim, de acordo com a NBR 8681/2003: Ações e segurança nas estruturas, e a NBR 6118/2003: Projeto de estruturas de concreto, as ações podem ser classificadas em *Permanentes*, *Variáveis* e *Excepcionais*, classificação esta que engloba todos os conceitos e eventos discutidos no texto do autor argentino. Já as **cargas** são classificadas, de acordo com a NBR 6120/1980: Cargas para cálculo de estruturas de edificações, em *Permanentes* (g) e *Acidentais* (q).

Cargas dinâmicas periódicas são aquelas cuja intensidade e sentido da força que geram repetem-se em intervalos regulares de tempo; por exemplo, as máquinas rotativas.

As não periódicas têm característica exatamente contrária, e as cargas dinâmicas instantâneas são aquelas que se aplicam de forma repentina, como é o caso de um veículo ou o golpe de um bate-estacas.

Os fenômenos relevantes produzidos pelas ações funcionais são em geral de tipo mecânico, gerando na estrutura diferentes solicitações, tensões e deformações, embora possam também estar associadas a outros fenômenos de caráter Físico, Químico ou Biológico.

Casos típicos dos fenômenos mecânicos são os originados pelas cargas, aqui consideradas todas as variantes anteriormente descritas que atuam sobre as estruturas.

A combinação com outro tipo de fenômeno poderia ser:

- Físico, o desgaste sobre a superfície ocasionado pela circulação de pessoas, ação classificada como cargas estáticas variáveis, ou dos veículos, classificada como carga estática móvel.
- Químico, a degradação produzida no concreto em conseqüência da presença de líquidos armazenados (cargas) contendo ácidos.
- Biológico, o ataque sofrido pelo concreto de uma estrutura destinada a transportar efluentes ou contendo adubo ou matéria orgânica em geral.

b) Ações Externas - Ambientais

As ações ambientais sobre as estruturas de concreto estão basicamente relacionadas com o entorno onde se encontra implantada a construção, sólido, líquido ou gasoso, e de sua interação com o meio circundante.

Em alguns casos, tal ação é equivalente a uma carga estática, como no caso do empuxo do solo, da água em repouso, da neve ou das rochas, ou em outros casos é equivalente a uma carga dinâmica gerada pelo movimento do ar, particularmente as rajadas de vento, ou pelo solo, como no caso dos sismos, ou da água em movimento, como no caso das ondas.

Nestes casos, a ação não depende apenas do fenômeno em vista, mas também das características da estrutura.

De uma maneira ou outra, quando interpretadas do ponto de vista das cargas, as ações ambientais produzem fenômenos do tipo mecânico, porém tais ações têm também importância singular porque dão origem a outros fenômenos que afetam o comportamento, a aparência, a durabilidade e muitas vezes até a capacidade portante das estruturas. Veremos os seguintes exemplos:

- Físicos: Variação de temperatura, umidade, ciclos de congelamento e degelo, etc.

- Químicos: Carbonatação, chuva ácida, ciclos de umedecimento e secagem, corrosão, ataque de ácidos, águas brandas, resíduos industriais, fogo, etc.
- Biológico: Microorganismos, algas, solos e/ou águas contaminados, etc.

Todas as ações mencionadas deverão ser associadas a sua probabilidade de ocorrência nas situações previstas no projeto.

En ambos casos, Ações Funcionais ou Ambientais, podem ocorrer fatos não previstos ou contemplados (Excepcionais ou Acidentais), que alteram bruscamente o comportamento da estrutura, como no caso de explosões, impacto de aviões, tornados, etc.

Uma situação singular é a das ações que podem ser geradas na etapa construtiva de uma estrutura, que muitas vezes não são contempladas ou especificadas adequadamente no projeto. Casos típicos são, para as estruturas construídas no canteiro, a remoção precoce do escoramento e no caso das estruturas pré-fabricadas, as solicitações geradas durante o transporte e/ou a montagem.

Em ambos os casos, podem aparecer deficiências ou falhas que não correspondem ao comportamento da estrutura acabada quando sob a ação de ações funcionais ou ambientais.

Uma situação equivalente se apresenta quando, mesmo tendo sido projetada e especificada corretamente a estrutura para a vida útil prevista, são cometidos erros durante a execução, que inviabilizam a obtenção do objetivo definido.

Isto é bastante freqüente, e por esta razão analisaremos mais adiante alguns dos erros construtivos mais comuns e suas conseqüências.

c) Ações Internas - Intrínsecas

São mudanças de volume que se manifestam e que têm características próprias de acordo com o tipo de concreto utilizado, teor e tipo de cimento, teor de ar incorporado, taxa e tipo de armaduras, etc. e/ou com o processo de produção, cura, proteção contra o vento, etc., de modo que, de acordo com as restrições internas ou externas, traduzem-se em esforços ou tensões que podem afetar a durabilidade e até modificar o comportamento da estrutura.

As manifestações típicas são:

- Assentamento plástico
- Retração plástica
- Retração térmica inicial
- Retração de secagem
- Reação álcali-sílica

d) Ações Internas - Induzidas

São deformações impostas, algumas com o objetivo de melhorar o comportamento estrutural quanto à capacidade portante, durabilidade ou condição de serviço, por

exemplo quando se empregam a técnica de protensão em todas suas variantes, a saber com aderência inicial (armadura pré-tracionada), com aderência posterior (armadura pós-tracionada) ou sem aderência (armadura pós-tracionada), outras deformações são produzidas em conseqüência de movimentação da fundação, fenômeno comumente conhecido como assentamento do vínculo.

Em alguns casos, as deformações aparecem como conseqüência do comportamento reológico do concreto, que aumenta sua deformação no tempo sob carga constante, fenômeno genericamente conhecido como fluência do material e que no caso das estruturas armadas adquire significado especial, por seu comportamento como conjunto estrutural e como material composto.

Considerações Gerais

O exposto até aqui é a classificação esquemática das ações que podem atuar em uma estrutura de concreto.

De acordo com sua probabilidade de ocorrência e da confiabilidade que se estabelece para a estrutura, deverá ser estabelecido um modelo de cargas equivalentes com suas correspondentes combinações, e considerá-las no projeto.

As ações que não forem consideradas nas verificações dos estados últimos por sua baixa probabilidade de ocorrência, agrupamo-las sob a denominação de acidentais ou extraordinárias, ações que de acordo com sua magnitude podem ocasionar graves danos à estrutura, incluindo o colapso.

As ações acidentais em geral obedecem a causas naturais, pelo que se poderiam considerar dentro das ações ambientais; casos típicos são os furacões, avalanches, inundações e os sismos de caráter extraordinário, fenômenos que em alguns casos podem ser previstos, porém em geral são difíceis de modelar e quantificar.

Dada sua natureza, as ações extraordinárias, por outro lado, são praticamente imprevisíveis no momento em que podem atuar sobre uma estrutura, se é que alguma vez o fazem no lapso de sua vida útil, e sua ação equivalente é difícil de estabelecer. Exemplos típicos são os impactos de aeronaves, as ações de guerra, um ataque terrorista ou as explosões de origem diversa como as decorrentes de escapamento de gás, explosão de cal

Fica claro que ainda que se possa estabelecer uma classificação primária das ações, uma mesma ação pode responder a mais de um critério de classificação e estar ou não compreendida dentro das ações que levamos em conta no projeto.

De fato, por múltiplas razões interessa particularmente analisar os fenômenos associados às ações de maior probabilidade de ocorrência, que são os que em geral se levam em conta no projeto.

Muitas das ações são de avaliação simples, como é o caso das cargas permanentes; outras estão em geral normalizadas com valores em geral diferentes de acordo com os diferentes países, como as sobrecargas de uso, a ação equivalente do vento, da neve ou do sismo. Mesmo assim, por razões óbvias, as ações ambientais estão em relação direta com o local de implantação, e mais ainda com o microclima particular

que pode ser gerado em circunstâncias específicas.

Além dos valores em si e da grande quantidade de ações possíveis de atuar em uma estrutura, são várias as ações de diferentes causas que podem levar a deficiências, falhas ou degradações semelhantes. Por exemplo, a que gera à retração de secagem, considerada uma ação Interna - Intrínseca, e uma variação térmica, considerada como ação Externa - Ambiental.

Foto 1. Mostra o colapso parcial de uma construção em conseqüência de um atentado terrorista.

Será necessário analisar detalhes ou singularidades que se apresentam para individualizar a que fenômeno em particular corresponde, a fim de conhecer sua origem e aplicar a medida corretiva adequada.

Por esta razão, e com o objetivo de facilitar a compreensão do problema patológico e conseqüentemente adotar a solução apropriada, agruparemos os fenômenos típicos de acordo com a origem da ação ou segundo a similaridade da resposta da estrutura.

Fenômenos ou problemas típicos[1]:

1.1 Corrosão de armaduras.
1.2 Ação de cargas externas. Processos mecânicos
1.3 Ação das variações de umidade e temperatura.
1.4 Ações que geram desintegração do concreto
1.5 Ações induzidas.
1.6 Falhas típicas do processo construtivo
1.7 Ação sísmica

Foto 2. Mostra o colapso de um depósito em conseqüência de sobrecargas excessivas.

1.1 Corrosão de Armaduras

A corrosão de armaduras é um processo eletroquímico que provoca a degradação (oxidação) do aço no concreto. Os fatores que afetam este fenômeno estão associados essencialmente às características do concreto, ao meio ambiente e à disposição das armaduras nos componentes estruturais afetados.

Os danos causados pela corrosão de armaduras geralmente manifestam-se através de fissuras no concreto paralelas à direção do reforço, delaminação e/ou lascamento do cobrimento. Em componentes estruturais que apresentam um elevado teor de umidade, os primeiros sintomas de corrosão evidenciam-se por meio de manchas de óxido na superfície do concreto.

---

[1]N.T.: A NBR 6118/2003, Projeto de estruturas de concreto, traz informação relevante para o engenheiro, particularmente nos itens 6.2. Vida útil de projeto, 6.3. Mecanismos de envelhecimento e deterioração, 6.4. Agressividade do ambiente, 11. Ações, e no Anexo A: Efeito do tempo no concreto estrutural.

Na Foto 1.1.1 são apresentados vários casos de estruturas afetadas por corrosão de armaduras.

Os danos por corrosão podem afetar a capacidade portante dos componentes estruturais, em função da perda de seção transversal das armaduras, da perda de aderência entre o aço e o concreto e da fissuração deste. Mesmo assim, a deterioração progressiva das estruturas por corrosão provoca lascamentos de material, que podem comprometer a segurança das pessoas.

Na Figura 1.1.1 são mostradas esquematicamente as falhas típicas observadas nas vigas afetadas por diferentes níveis de deterioração por corrosão de armaduras.

Na figura são apresentados valores estimados de diminuição de seção transversal de armaduras (ΔØ) para os quais seria possível observar este nível de deterioração considerando-se um concreto de qualidade padrão.

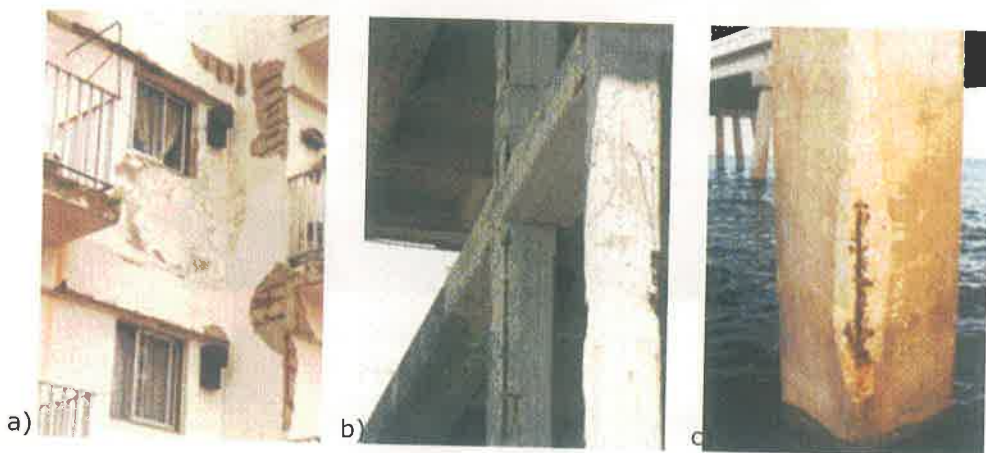



Foto 1.1.1 Danos em estruturas de concreto armado causados por corrosão. a) Corrosão por cloretos em fachada de edifício, b) Corrosão por carbonatação em estrutura de concreto armado, c) Corrosão por cloretos em pilar protendido

1.1.1 O processo de corrosão

A corrosão é um processo que ocorre na fase aquosa; no caso do concreto armado, o fenômeno ocorre na solução existente nos poros internos.

O fenômeno é observado com freqüência em concretos de baixa qualidade, elaborados com altas relações água/cimento e por conseguinte que apresentam elevada porosidade, assim como em componentes estruturais afetados por umidade ou ciclos de molhagem.

A elevada alcalinidade apresentada pela solução nos poros do concreto (pH > 12,5) proporciona um meio protetor ao aço em que a velocidade de corrosão (*VC*) é praticamente nula. Esta condição é denominada *passividade*, sendo que os valores de VC das armaduras são inferiores a 1 μm/ano. O estado

passivo das armaduras pode ser perdido essencialmente devido à ação de dois mecanismos: o ataque por cloretos e a perda de alcalinidade no concreto.

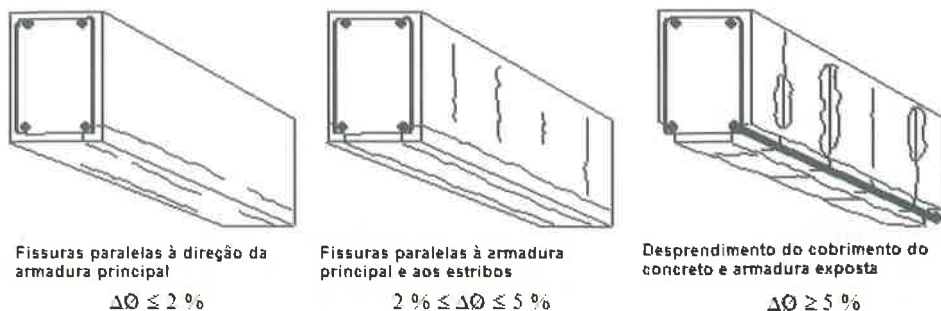



Figura 1.1.1. Representação esquemática das patologias típicas observadas em vigas de concreto armado afetadas por corrosão

A elevada alcalinidade apresentada pela solução nos poros do concreto (pH > 12,5) proporciona um meio protetor ao aço em que a velocidade de corrosão (*VC*) é praticamente nula. Esta condição é denominada *passividade*, sendo que os valores de VC das armaduras são inferiores a 1 µm/ano. O estado passivo das armaduras pode ser perdido essencialmente devido à ação de dois mecanismos: o ataque por cloretos e a perda de alcalinidade no concreto.

1.1.2 Ataque por cloretos

A presença de uma *concentração crítica* (*Cc*) de íons cloreto em contato com a superfície da armadura provoca a despassivação do aço e a corrosão localizada deste. O valor de *Cc* depende de diversos fatores, tais como o pH, o teor de aluminato tricálcico (C_3A) no cimento e, em alguns casos, do teor de umidade do concreto.

O valor do teor crítico de cloretos (expresso como cloretos totais ou solúveis em ácido) geralmente adotado na prática é de *Cc* = 0,4 % em peso com relação ao teor de cimento do concreto.

O ingresso de íons cloretos para o interior do concreto pode ser devido à interação com o meio ambiente, ao emprego de sais de degelo ou à utilização de aditivos e/ou agregado contendo este tipo de íons durante a produção do concreto.

1.1.3 Perda de alcalinidade no concreto

A diminuição do pH do concreto (pH ≤ 9) provoca a perda da passividade do aço. Este processo pode ocorrer como resultado da lixiviação das substâncias alcalinas existentes nos poros do concreto ou mesmo devido ao processo de carbonatação. A carbonatação ocorre como resultado da reação química entre o hidróxido de cálcio, $Ca(OH)_2$, e outros álcalis (sódio e potássio) presentes na solução dos poros com o dióxido de carbono (CO_2) atmosférico.

O produto desta reação é o carbonato de cálcio ($CaCO_3$), tornando ácido o concreto. Este fenômeno avança para o interior do concreto a uma velocidade que é geralmente proporcional a $t^{1/2}$, sendo t o tempo.

O processo de carbonatação ocorre com maior rapidez em concretos de baixa qualidade e em ambientes cuja umidade relativa varia entre 50 e 70 %.

Sem dúvida, um dos processos de corrosão mais difíceis de identificar e predizer é o que ocorre ocasionalmente no aço de alta resistência utilizado nas estruturas de concreto protendidas com armaduras pré ou pós-tracionadas.

Este fenômeno denomina-se *corrosão sob tensão,* e se caracteriza por ser uma corrosão localizada e não acarretar perda de massa significativa. Conseqüentemente, a corrosão sob tensão pode provocar a falha de elementos estruturais sem que se observem sinais visíveis de corrosão na estrutura. O fenômeno está associado à aparição de fissuras que se propagam com relativa rapidez, provocando a ruptura frágil do material.

A suscetibilidade à corrosão sob tensão depende em grande parte da alcalinidade do concreto e do teor de íons cloreto.

Este fenômeno pode ocorrer em concretos que apresentam valores de pH $< 12,8$ e teores de cloretos menores ainda que os níveis estabelecidos como limites para o início da corrosão do aço no concreto armado.

Conseqüentemente, os componentes estruturais construídos com concretos de baixa qualidade, fabricados com aditivos que diminuem sua alcalinidade, ou expostos a ambientes com cloretos serão mais propensos a apresentar problemas de corrosão sob tensão.

1.1.4 Processo de corrosão

Todo processo de corrosão eletroquímica requer a presença de pelo menos quatro elementos: a) um ânodo, onde ocorre a oxidação do aço, b) um cátodo, onde ocorre a reação de redução, c) um condutor elétrico[1] por onde circulam os elétrons liberados no ânodo e que são consumidos no cátodo, e d) um eletrólito[2], onde ocorrem tais reações. Na Figura 1.1.2 é representado esquematicamente o processo de corrosão de armaduras no concreto.

Os produtos de corrosão do aço ocupam um volume que é várias vezes superior ao do metal original. A acumulação destes produtos na interface entre o aço e o concreto gera tensões de tração neste último, que provocam a fissuração e o posterior desprendimento do cobrimento.

O tempo de aparição de fissuras depende essencialmente da qualidade e da espessura do cobrimento do concreto, assim como do diâmetro e do posicionamento da armadura e do tipo de produto de corrosão gerado. A título de exemplo, uma barra de diâmetro 12,50 mm (1/2") com cobrimento de aproximadamente 4 cm provocará fissuras no concreto quando houver uma diminuição de 1 % na seção transversal.

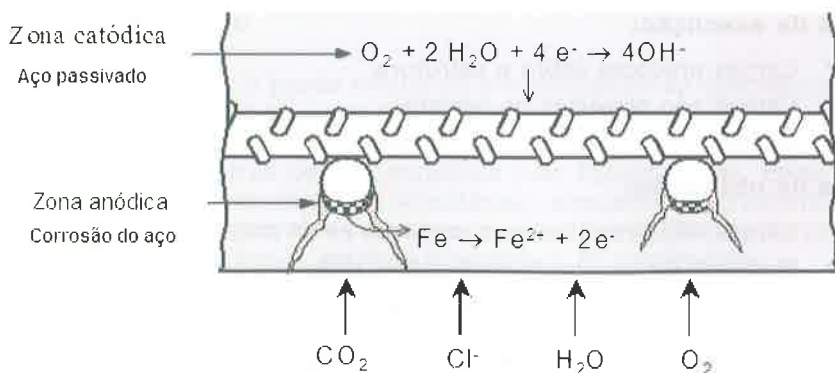



Figura 1.1.2. Representação esquemática do processo eletroquímico de corrosão das armaduras no concreto

1.2 Ação das Cargas Externas. Processos Mecânicos

A ação das cargas externas, definidas anteriormente, gera no concreto armado um estado de tensões complexo. Ao analisarmos um elemento de uma estrutura de concreto armado, verificamos que suas seções estão submetidas a uma solicitação simples ou a uma composta por solicitações múltiplas normais. As solicitações normais são tração, compressão, flexão, cortante e torção.

Existindo alguma deficiência na estrutura de concreto armado, ela se manifestará na maioria dos casos na forma de fissuras, cuja configuração dependerá do tipo de solicitação atuando neste trecho. Portanto, a interpretação das fissuras observadas em uma estrutura de concreto armado pode nos levar, com alguma certeza, às causas do problema (ver Figura 1.1.1 e Figura 1.2.2).

Com base na experiência adquirida, podemos afirmar que, em geral, em poucas ocasiões a origem de um determinado problema estrutural está em uma única causa; na maioria dos casos, são várias as causas geradoras.

Dentre as causas mais comuns, e em geral associadas a um maior comprometimento estrutural, estão aquelas ligadas às cargas externas. A deficiência pode ter origem na etapa do projeto, da construção ou do uso, conforme veremos a seguir.

Erros de projeto:

- Omissão de algum carregamento.
- Subestimação das ações das cargas.
- Deficiência na combinação dos carregamento.
- Modelagem errônea da estrutura resistente, tanto para cargas estáticas como para dinâmicas.

---

[1]N.T.: A armadura.

[2]N.T.: A água nos poros do concreto.

Erros de execução:

- Cargas precoces sobre a estrutura.
- Cargas não previstas no projeto.
- Deficiências no transporte e/ou montagem de elementos pré-moldados.

Erros de utilização:

- Cargas não previstas ou superiores às de projeto
- Mudança de uso implicando sobrecargas maiores.
- Maquinário ou instalações que geram cargas dinâmicas não previstas.

Nos tópicos seguintes são analisadas as configurações de fissuras geradas em estruturas de concreto armado por diferentes solicitações, simples ou compostas, que surgem em conseqüência das ações externas, funcionais ou ambientais, que se traduzem em cargas (estáticas ou dinâmicas) que geram processos mecânicos.

VIGA CONTÍNUA DE CONCRETO ARMADO

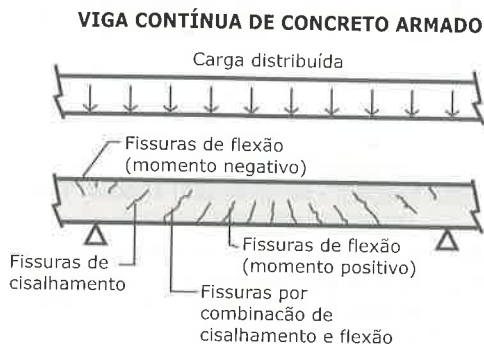



Figura 1.2.1 Representação esquemática das patologias típicas observadas em vigas de concreto armado afetadas por corrosão

PÓRTICO DE CONCRETO ARMADO

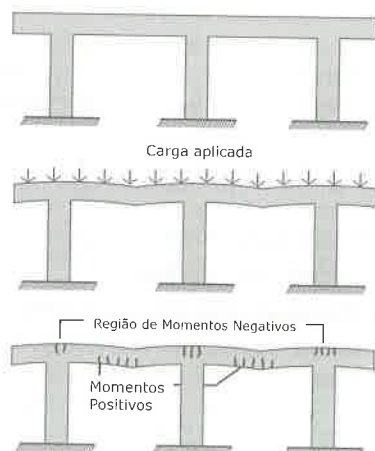



Figura 1.2.2

1.2.1 Tração axial

Este tipo de solicitação é pouco freqüente em elementos de concreto armado e pode dar origem, se não houverem sido realizadas as verificações correspondentes aos estados últimos de utilização, a numerosas e importantes fissuras perpendiculares às barras de aço principais (ver Figura 1.2.3). Estas fissuras formam-se praticamente de forma simultânea, atravessam geralmente toda a seção do elemento estrutural, e costumam ocorrer coincidindo com a posição da armadura transversal, isto é, estribos e armadura de distribuição.

O concreto possui um bom comportamento mecânico quando solicitado à compressão, porém o mesmo não ocorre quando o concreto é solicitado à tração. As tensões a que um concreto tracionado resiste estão na ordem de 10 % das de compressão. Por esta razão, e pela dificuldade de contar com um concreto sem fissuras, despreza-se, nos cálculos de seções de concreto armado, a pequena resistência à tração. Não obstante, esta pequena resistência do concreto à tração deve ser levada em conta nas verificações de fissuração e deformação, que fazem parte do que denominamos estados limites de utilização ou serviço.

Existem poucos casos em que um elemento de concreto armado seja projetado para solicitação normal de tração. Podemos mencionar o caso dos tensores verticais em mezaninos, tirantes horizontais em fundações e setores de tanques de seção circular afastados das zonas com perturbações de borda, com é o caso da base e da tampa.

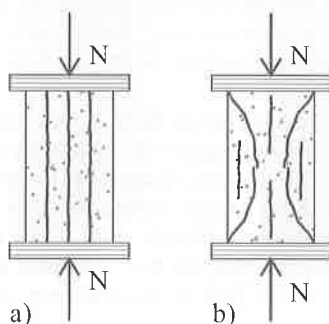



Figura 1.2.3 Figura 1.2.4

1.2.2 Compressão axial

Um elemento de concreto submetido a esforços de compressão axial pode manifestar diversas formas de fissuração que dependem de sua esbeltez e do grau de restrição transversal existente em seus extremos.

Tais efeitos podem-se observar nos ensaios de laboratório realizados com corpos-de-prova de concreto simples. Se fosse possível eliminar totalmente o atrito entre as faces do corpo-de-prova e dos pratos da prensa, a compressão pura que se obteria provocaria uma ruptura com fissuras paralelas à direção do esforço, formando bielas ou colunas nessa mesma direção (ver Figura 1.2.5a). Existindo atrito, como geralmente ocorre, as fissuras adotam uma forma diferente daquela em que a deformação transversal nos extremos é restringida, cuja configuração é indicada na Figura 1.2.5b.

Em elementos estruturais mais esbeltos obtêm-se outras configurações de fissuração (Figura 1.2.5a, b e c) devido a outros fatores, tais como a possível heterogeneidade do concreto ao longo do elemento, distribuição não uniforme das tensões de compressão devido a excentricidade das cargas, etc. Assim, é importante indicar que as figuras mostram possíveis estados de fissuração no momento da ruptura e não em condições de serviço. Uma configuração como a indicada na Figura 1.2.5d, formada por fissuras finas (abertura de aproximadamente 0,1 mm) localizadas próximas em uma das faces de um pilar esbelto, estaria indicando uma situação perigosa de flambagem do elemento estrutural.

A forma habitual de colapso de pilares de concreto armado é a indicada na Figura 1.2.5e, e consiste em fissuras muito finas (aberturas da ordem de 0,05 a 0,15 mm), paralelas à diretriz do elemento, e não coincidentes, em geral, com a posição das armaduras. Estas fissuras aparecem em um estágio prévio à ruptura, quando as cargas atingem um valor da ordem de 85 a 90 % da capacidade resistente da coluna.

Para cargas próximas à de ruptura em pilares com cintamento em espiral, primeiro remove-se o cobrimento, porém o elemento pode continuar resistindo, ainda que à custa de grandes deformações.

Na prática, as aberturas de fissuras que podem aparecer nos pilares em situações prévias à ruptura podem ser maiores se a armadura é aumentada, em especial a transversal. Quer dizer, quando aumenta a abertura das fissuras antes do colapso, a dutilidade está sendo aumentada e por conseguinte a capacidade de aviso do estado de esgotamento do pilar. Este é um aspecto muito importante a levar em conta, já que os pilares de concreto armado, por sua natureza, têm capacidade limitada de aviso por apresentarem ruptura do tipo frágil.

Por sua função no conjunto estrutural, o colapso de pilares solicitados a compressão simples, ou com pequena excentricidade, é a principal causa de desmoronamentos generalizados de estruturas.

As cargas de compressão concentradas, por exemplo a introdução de uma carga de um pilar em uma base, a introdução de uma força de protensão, etc., podem gerar fissuras de tração paralelas aos esforços de compressao. O efeito é semelhante ao fenômeno de fendilhamento que provoca a ruptura dos corpos-de-prova cilíndricos no ensaio de compressão diametral (ver Figura 1.2.6).

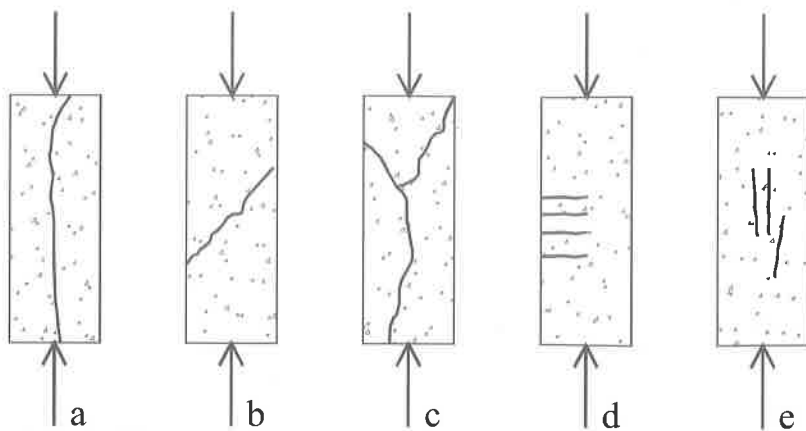



Figura 1.2.5

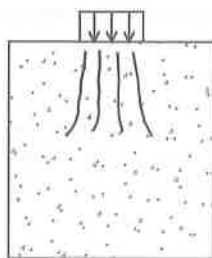



Figura 1.2.6

1.2.3 Flexão e cisalhamento

As fissuras geradas por flexão são as mais freqüentes e portanto as mais conhecidas. Podem aparecer a partir de uma solicitação de flexão pura ou por uma combinação de flexão e cisalhamento. Conforme a importância relativa de ambos esforços, variará assim a posição e inclinação das fissuras (ver Figura 1.1.1 e Figura 1.2.2).

Nos casos de predominância das solicitações de flexão, obtêm-se as configurações de fissuração indicadas progressivamente na Figura 1.2.7a, b e c. Nestas configurações, a fissuração por flexão inicia-se na armadura, progride na vertical em direção à fibra neutra e, em certos casos, no final orienta-se buscando o ponto de aplicação da carga detendo-se ao alcançar a zona de compressão. Em geral, e quando a armadura foi adotada corretamente, os elementos solicitados essencialmente por flexão têm uma grande capacidade de aviso através de um quadro pronunciado de fissuração, o que lhes confere características de dutilidade.

Nos casos de predominância de cisalhamento, obtêm-se as configurações de fissuração indicadas progressivamente nas figuras 1.2.8.a, b e c. Nestes casos, a fissuração por cisalhamento pode começar na alma da peça ou na fibra tracionada, avançar até os dois extremos ou pelo extremo superior, respectivamente, e chegar a afetar toda a altura da peça, dividindo-a em duas partes.

Este processo pode ser muito rápido dependendo da taxa de armadura existente, especialmente a transversal. Daí a necessidade de adotar a armadura correta com o intuito de aumentar a dutilidade, permitindo o desenvolvimento integral da capacidade à flexão.

As características principais das fissuras geradas por flexão que as diferenciam das geradas por cisalhamento são as seguintes:

- Não afetam toda a altura da peça, chegando até aproximadamente a linha neutra.
- Aparecem em certa quantidade e bastante próximas entre si, especialmente se o aço utilizado é de alta aderência.
- As fissuras tendem a desaparecer quando são retiradas as cargas que as geraram.
- São perpendiculares ao eixo do elemento e inclinam-se em função do valor do esforço cortante.

Outro tema de interesse é a punção, esforço com certa similaridade ao cortante, característica dos elementos lineares. À diferença do cortante, a punção é gerada em uma estrutura superficial, em geral plana, por introdução de uma carga concentrada perpendicular ao seu plano médio.

Os exemplos típicos onde ocorre a punção são as placas de fundação, as bases isoladas e as lajes de mezaninos sem vigas. As deficiências na avaliação desta solicitação manifestam-se em configurações de fissuração tais como as indicadas na Figura 1.2.9.

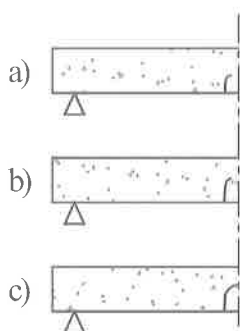
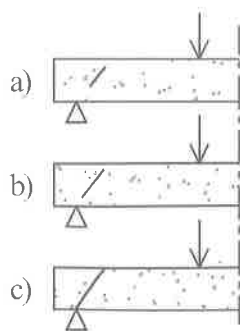



Figura 1.2.7 Figura 1.2.8

1.2.4 Flexão composta

Dentro dos casos de solicitações de flexão composta, ou seja, de peças submetidas simultaneamente a um esforço axial e a um momento fletor, consideraremos dois comportamentos segundo a importância relativa de ambas solicitações.

Quando se têm peças submetidas a momentos fletores significativos junto com esforços axiais reduzidos, ou seja, peças solicitadas predominantemente a flexão ou de grande excentricidade, o comportamento é parecido com o que se apresenta na flexão simples, tratado anteriormente.

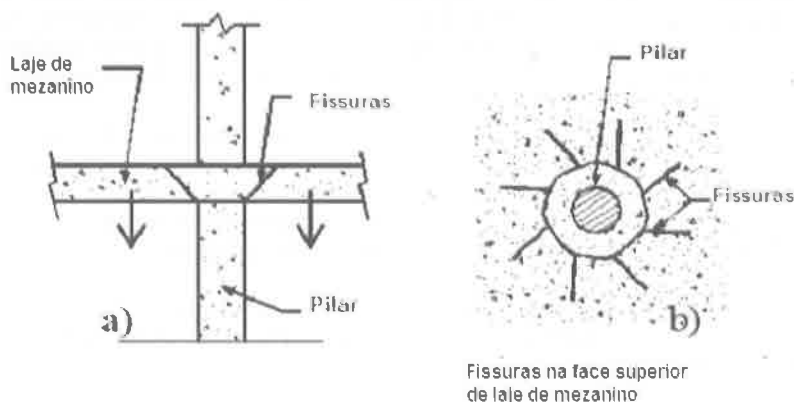



Figura 1.2.9

Por outro lado, quando as peças estão submetidas a um esforço axial de compressão importante e a um momento fletor reduzido, a saber, peças solicitadas predominantemente à compressão ou com pequena excentricidade, o comportamento é semelhante ao da compressão centrada.Neste caso, como já se indicou, são produzidas fissuras finas e paralelas entre si e à diretriz da peça. A abertura das fissuras não ultrapassa em geral 0,1 mm e portanto os pilares com excentricidades deste tipo contam com pouca capacidade de aviso de seu estado próximo da ruptura.

Para o caso de peças submetidas a um esforço axial de tração importante e a um momento fletor reduzido, a saber peças com tração dominante, o comportamento tem semelhança com o de tração axial, já descrito. Ainda que não seja um caso muito comum, pode apresentar-se nos tensores (tirantes) horizontais com grandes esforços axiais, que também atuam como vigas que suportam pequenas cargas produzindo flexão.

1.2.5 Torção

Nas estruturas de concreto armado, quando a resistência à torção da peça não é necessária para o equilíbrio desta ou de outros elementos ligados a ela, geralmente não é levada em conta, apenas considerando-se uma armadura mínima, e por esta razão ela é considerada uma solicitação secundária.

Quer dizer, a torção é considerada secundária quando a estrutura pode resistir com razoável segurança, supondo que a rigidez à torção de um ou mais elementos de tal estrutura seja praticamente nula. Caso isto não ocorra, a torção passa a ser uma solicitação principal.

A torção apresenta-se quase sempre acompanhada de solicitações de flexão e cisalhamento, gerando tensões tangenciais na peça, de forma semelhante às originadas pelos esforços de cisalhamento. Daí se depreende que a identificação dos problemas de solicitações de torção gera maiores dificuldades que as estabelecidas pelas solicitações de cisalhamento.

É importante mencionar que, na maioria dos casos, as seções com maior solicitação à torção coincidem com aquelas de maior solicitação ao cortante, do que se depreende que, nestes casos, a verificação se faz considerando a superposição das tensões geradas pelos dois tipos de solicitações simultaneamente.

A torção em si gera nas peças de concreto armado fissuras a 45° em cada uma das faces com uma configuração de tipo helicoidal, como a indicada na Figura 1.2.10. Este tipo de fissura costuma ser observado quando não foram levados em conta os efeitos de torção como solicitação secundária, ou quando foi incorretamente tratada a torção como solicitação principal.

No primeiro caso, a segurança da estrutura não seria grandemente afetada; no segundo caso, de torção como solicitação primária, estaríamos diante da possibilidade de falha da peça.

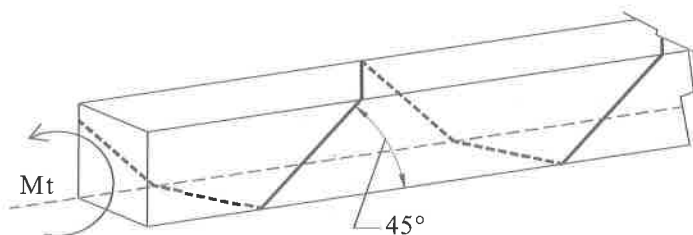



Figura 1.2.10

1.2.6 Impacto

O impacto de um corpo sobre uma estrutura pode ter diferentes conseqüências conforme sejam os valores das respectivas massas, deformabilidades e a velocidade do elemento impactante.

Impacto severo

Impacto moderado

Impacto leve

Foto 1.2.1

Quando o objeto é pequeno e pouco resistente e impacta a estrutura sob baixa velocidade, as conseqüências para uma estrutura rígida serão desprezíveis e em geral apenas se traduzirão em ruptura local ou lascamentos. No caso inverso, ou seja de objetos de grande tamanho e rígidos deslocando-se a grande velocidade, estes podem provocar danos consideráveis, tais como a perda de rigidez, resistência, e inclusive o colapso.

Os casos mais comuns de danos leves são os impactos de veículos em pilares ou paredes (muretas) de estacionamentos, áreas de manobras ou depósitos, onde os elementos estruturais são rígidos e as velocidades de circulação são relativamente baixas.

Os casos típicos onde são produzidos danos importantes são os impactos de caminhões ou veículos de carga em geral sobre os elementos estruturais de pouca rigidez, como é o caso dos tirantes ou as defensas de pontes.

As fotos ilustram as conseqüências de impactos de diversos graus de importância.

1.3 Variações de Temperatura e Umidade

Para analisar o efeito das variações de temperatura e/ou umidade sobre o concreto endurecido, é necessário ater-se às faixas de variação habituais, excluindo as situações excepcionais, como o caso de incêndio e de geada. Nestes casos, tais variações são tratadas separadamente.

Analisaremos as variações térmicas na faixa de -3 °C a + 70 °C e as variações no teor de umidade por processos de molhagem/secagem ao ar.

O que interessa particularmente conhecer é a influência das variações térmicas inverno-verão e dia-noite, e os efeitos dos processos de secagem e os ciclos de umedecimento-secagem sobre a estabilidade volumétrica e a possibilidade de fissuração. Também será mencionado o caso do concreto massa.

A razão de se analisar de forma conjunta estes dois fenômenos é que em situações reais são produzidos gradientes de umidade e/ou temperatura marcadamente não lineares, cujo tratamento analítico e conceptual é semelhante.

1.3.1 Efeitos das variações de temperatura e teor de umidade sobre a estabilidade volumétrica.

As variações de temperatura ocasionam variações de volume, de forma semelhante à que ocorre com qualquer sólido, ou seja, o material se dilata quando se aquece e se contrai quando esfria. Algo semelhante ocorre nas variações do teor de umidade: o concreto «incha» quando se umidifica e se contrai à medida que seca.

Em primeira instância, considerando que tais fenômenos se manifestam de forma homogênea em toda a seção, somente aparecerão tensões se os vínculos, externos ou internos, impedirem a livre deformação, tal como se ilustra esquematicamente na Figura 1.3.1. Como vínculos externos, podem ser citados outros elementos estruturais vinculados, o atrito (no caso de lajes apoiadas sobre o piso), apoios fixos, etc., e como interno, a presença de barras de armadura, mudanças bruscas de seção,etc.

A morfologia das fissuras é simples, são aproximadamente paralelas entre si, sem entrelaçamentos e orientam-se perpendicularmente à tensão principal de tração. Dado que o concreto seca lentamente, este tipo de fissuras só aparece depois de várias semanas ou mesmo meses.

Sendo o concreto muito menos resistente à tração que à compressão, é evidente que interessa mais avaliar a retração que a dilatação, pois é raro que um elemento venha a falhar porque sua dilatação provocou a aparição de tensões de compressão excessivas.

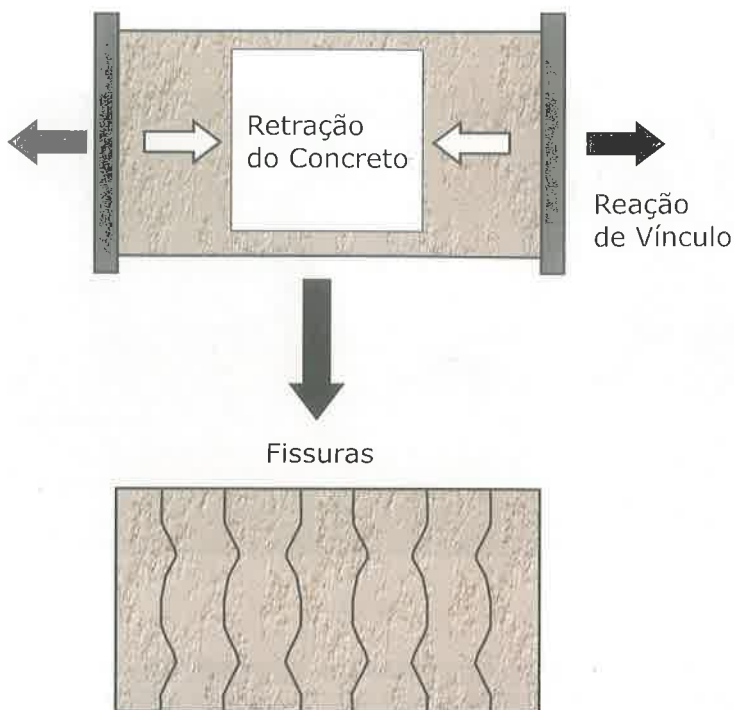



Figura 1.3.1 Fissuração devida à retração restringida

Praticamente não há como evitar a retração do concreto, podendo-se apenas minimizá-la; portanto, se o concreto está limitado quanto à retração, a ausência total de fissuras é praticamente impossível.

Com o objetivo de aliviar tais tensões e evitar a aparição de fissuras, geralmente são projetadas juntas (de retração ou de dilatação) espaçadas convenientemente. A Foto 1.3.1 mostra uma junta sendo serrada.

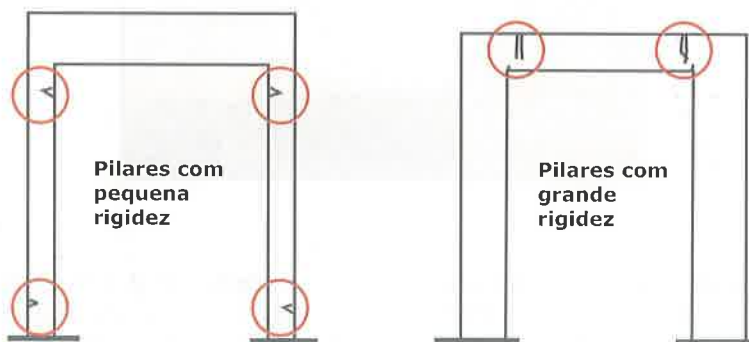



Figura 1.3.2

A Figura 1.3.2 e la Figura 1.3.3 mostram uma fissura de retração provocada por efeito de retração impedida.

Foto 1.3.1

Não obstante, em muitas circunstâncias pode ser gerada fissuração sem a intervenção de vínculos visíveis. Isto ocorre quando a distribuição de umidade ou temperatura não é uniforme no elemento, existem gradientes marcadamente não lineares e são geradas tensões que podem exceder a capacidade de deformação e a resistência à tração do material.

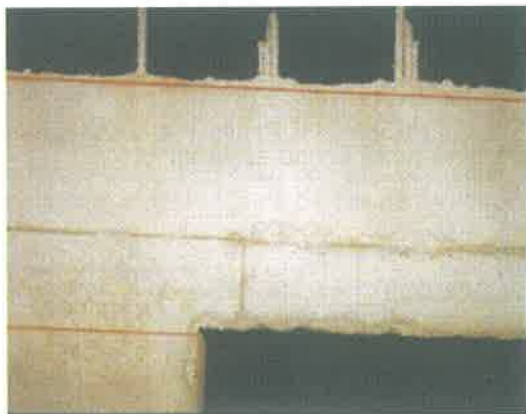



Foto 1.3.1

A distribuição «não linear» de temperatura ou umidade introduz maiores diferenças nas deformações de capas adjacentes próximas à superfície, constituindo uma causa potencial de fissuras, mesmo quando a análise «pela média» das variáveis não indique condições de risco. A Figura 1.3.2 mostra a diferença entre ambos limites.

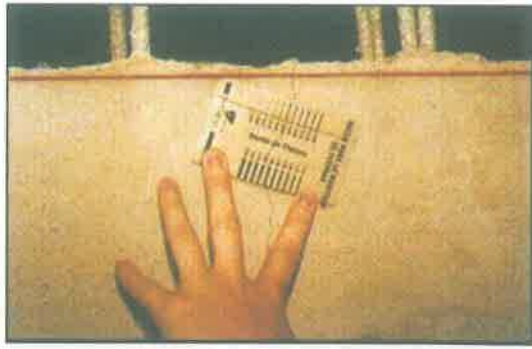



Foto 1.3.3. Detalhe da fissura

É muito comum observar um «mapeamento» ou «quarteamento» de superfícies concretadas nas quais a abertura de fissuras é muito pequena, porém abrangendo toda a superfície. Este defeito pode manifestar-se quando o concreto seca muito rapidamente (tempo seco e ventoso) ou quando esfria muito rapidamente (desforma em tempo frio).

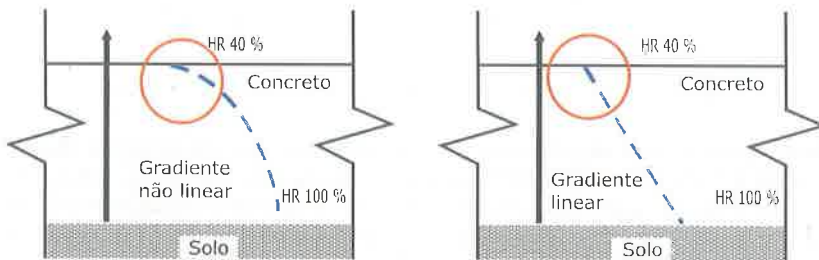



Figura 1.3.3. Fissuração por retração impedida

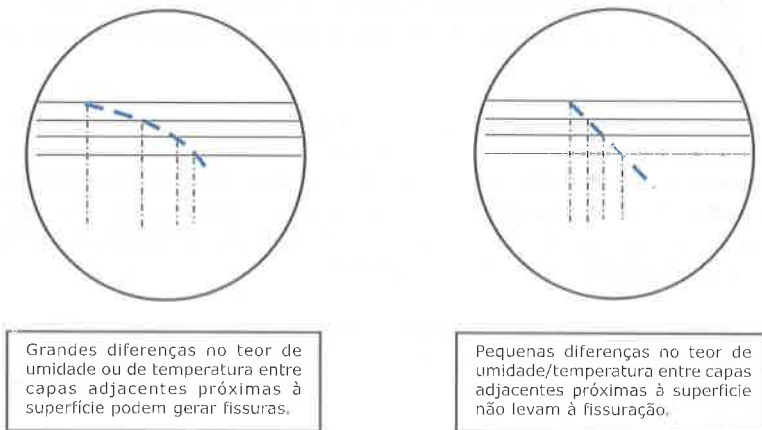



Figura 1.3.4. Fissuração por retração impedida

É muito comum observar um «mapeamento» ou «quarteamento» de superfícies concretadas nas quais a abertura de fissuras é muito pequena, porém abrangendo toda a superfície. Este defeito pode manifestar-se quando o concreto seca muito rapidamente (tempo seco e ventoso) ou quando esfria muito rapidamente (desforma em tempo frio).

Outra situação que pode ocorrer com certa freqüência é quando um elemento estrutural tem seção variável. Após a desmoldagem, as seções finas secam mais rápido que as grossas, retraindo-se antes. As seções grossas constituem um vínculo interno e podem surgir fissuras que começam justamente no encontro entre as seções grossas e as finas. Em uma seção como a esquematizada na Figura 1.3.5, a aba seca mais rápido que a alma, retraindo-se. A alma atua como vínculo «interno», provocando fissuras na aba, que começam na alma.

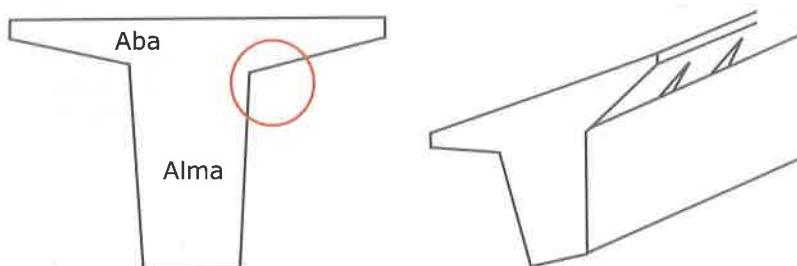



Figura 1.3.5 Fissuras em elemento estrutural de seção variável

Um efeito semelhante ocorre quando um elemento de concreto é desmoldado e existe uma grande diferencá entre a temperatura do concreto e a do ar (concreto quente e ar frio). A superfície exposta do concreto esfria rapidamente, retraindo-se, e a parte interna não, impondo-lhe conseqüentemente uma restrição à livre deformação. Isto gera tensões de tração sobre o concreto externo que podem gerar uma fissuração superficial com aspecto de mapa geográfico.

Um caso particular sobre o qual há vasta bibliografia é o do concreto massa, armado, caso este em que o controle das causas da fissuração costuma ser um ponto crítico.

O problema pode ser resumido como a seguir: o concreto em grandes volumes tem dificuldade para dissipar calor, e assim a temperatura aumenta devido ao calor gerado nas reações de hidratação do cimento. A condição final de equilíbrio térmico poderia ser associada à temperatura média anual. No processo de resfriamento podem-se produzir tensões, tanto por vínculos externos quanto internos, que produzem fissuras no concreto.

Com este objetivo podem ser adotadas ações diversas, como: reduzir ao máximo o teor de cimento, empregar um cimento de baixo calor de hidratação, reduzir a temperatura de colocação do concreto ou, inclusive, empregar técnicas de pós-resfriamento.

Em estruturas cuja menor dimensão supera os 70-80 cm, estes fenômenos deverão ser considerados; mesmo existindo armadura, esta pode ser dimensionada para

o controle da abertura das fissuras, melhorando ainda mais a solução do problema.

Foto 1.3.4. Fissuras por resfriamento precoce e retração de secagem de uma laje

Foto 1.3.5. Fissuras por retração impedida de origem térmica de um muro

1.3.2 Efeito da repetição de ciclos térmicos ou ciclos de molhagem-secagem

A ação cíclica de variações térmicas ou de molhagem e secagem provoca uma ação prejudicial por acúmulo de efeitos. As fissuras podem não ser importantes em relação à deterioração, porém certamente servem como via de acesso a diferentes agentes agressivos (água, sais, ácidos, ar, etc.) e conseqüentemente podem afetar a durabilidade do concreto.

1.4 Ações que Geram Desintegração do concreto

1.4.1 Ação das baixas temperaturas sobre o concreto – Efeito de ciclos de congelamento e degelo[1]

A ação das baixas temperaturas deve ser considerada em duas situações que podem ou não coexistir:

a) Ocorrem no momento da produção, lançamento e adensamento do concreto nas primeiras idades, isto é, com o concreto ainda «jovem», cuja resistência à compressão é inferior a 4 MPa.

b) Constituem uma condição de serviço durante a vida útil do concreto pela repetição de ciclos de congelamento e posterior degelo, estando saturado o concreto.

---

[1]N.T.: Esta situação não é muito comum no Brasil por causa de nosso clima predominantemente quente.

Em ambos os casos, a causa básica da deterioração pode ser associada à expansão volumétrica que a água sofre ao congelar-se, porém os mecanismos de prevenção da deterioração e as conseqüências do dano são diferentes.

Para o caso a) o concreto fresco ou muito jovem congela-se sob temperaturas próximas a 0 °C devendo estar presentes situações particulares que agravam a situação, tais como a presença simultânea de vento, pequenas dimensões do elemento estrutural, o baixo teor de cimento ou a reduzida temperatura inicial da mistura.

Não existe qualquer mecanismo que proteja o concreto jovem da deterioração por congelamento, sendo o único recurso prático **evitar que ele se congele** aquecendo os componentes, prevenindo a perda de calor, utilizando maiores teores de cimento, evitando seções muito delgadas, etc.

O caso b) é mais interessante do ponto de vista da condição de serviço da estrutura, pois as baixas temperaturas constituem uma condição de exposição particular.

Como já foi mencionado, de uma maneira simplificada pode-se associar o dano à aparição de tensões provocadas pela formação e expansão de gelo dentro da estrutura de concreto endurecido. Surge assim de forma natural a primeira das condições de ocorrência de dano: que a temperatura seja suficientemente baixa para provocar o congelamento da água formada nos capilares (de tamanhos variados).

Dado que a água não está sob pressão atmosférica, e sim submetida a diferentes graus de tensão em função do diâmetro do capilar ocupado, as temperaturas para provocar seu congelamento são inferiores a 0 °C e os cristais de gelo não se formam simultaneamente em todo o volume.

Como dado prático, podemos nos preocupar com temperaturas inferiores a 5 °C. A Figura 1.4.1 ilustra estes conceitos.

Outra consideração útil é a do teor de umidade do concreto no momento do congelamento. Existe um teor de umidade crítico abaixo do qual não ocorrem danos, denominado «saturação crítica».

Para compreeender este conceito, retomaremos a simplificação de que as tensões são provocadas pelo aumento de volume de água durante o congelamento. Este aumento de volume é de aproximadamente 10 %, com o qual se o concreto tiver 10 % de poros capilares com ar (saturação menor que 90 %), ao congelar-se a água ocuparia os vazios disponíveis, sem introduzir tensões prejudiciais no material.

Em diversas experiências de laboratório foi demonstrado que este nível crítico é de aproximadamente 92 % para argamassas, podendo variar um pouco para concretos, tal como se visualiza na Figura 1.4.2.

Outra característica a considerar na deterioração por congelamento do concreto endurecido é que o dano não é imediato, mas que são necessários numerosos «ciclos» de congelamento e degelo.

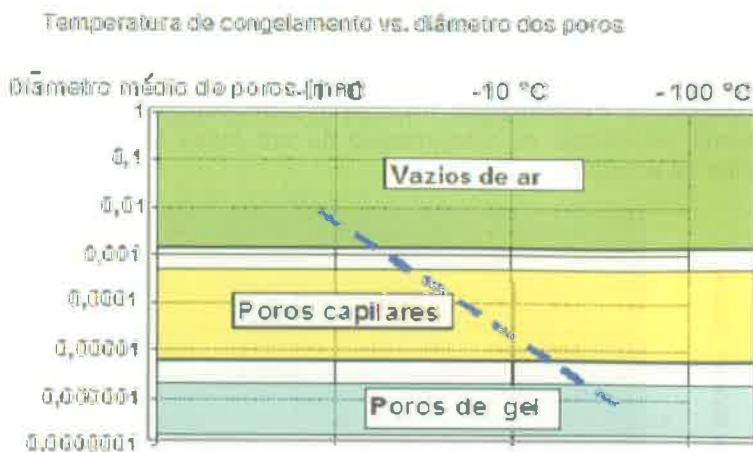



Figura 1.4.1. Temperatura de congelamento para a água formada nos poros do concreto

Outra característica a considerar na deterioração por congelamento do concreto endurecido é que o dano não é imediato, mas que são necessários numerosos «ciclos» de congelamento e degelo.

Do ponto de vista prático, esta consideração nos levaria a descartar danos em um concreto que foi lançado numa região onde a ocorrência de baixas temperaturas é ocasional. Além disso, é preciso considerar que deverá haver coincidência de temperaturas baixas com a condição de saturação do concreto superior ao nível crítico para que a deterioração se desenvolva.

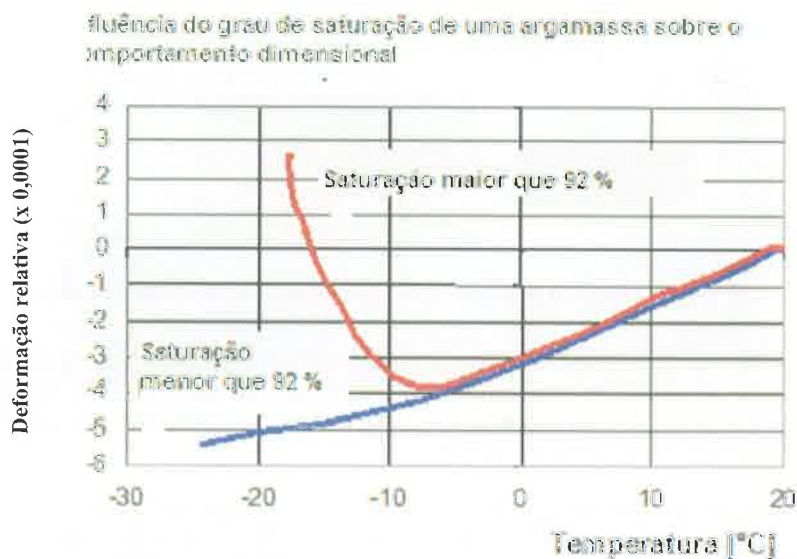



Figura 1.4.2 Retrações medidas em argamassas com diferentes níveis de saturação de umidade

A metodologia habitual para avaliar a deterioração progressiva é medir a velocidade do pulso ultra-sônico, por ser um ensaio não destrutivo. A redução na velocidade do puso é uma evidência da deterioração produzida. A Figura 1.4.3 mostra o ritmo de deterioração progressiva do concreto, evidenciado pela diminuição na velocidade de transmissão de um pulso ultra-sônico, à medida que os ciclos se acumulam.

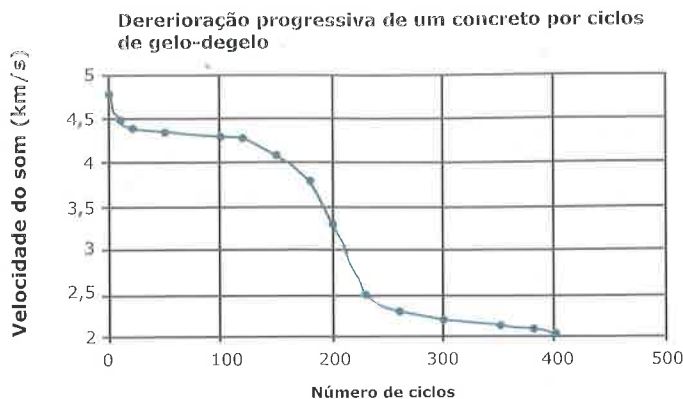



Figura 1.4.3 Deterioração progressiva do concreto por ciclos de congelamento e degelo

Esquema simplificado para a obtenção de concreto durável em situação de gelo-degelo

T<-5° → SIM → S>Scr → SIM → Ciclos → SIM → Medidas Preventivas

NÃO | NÃO | NÃO → Durabilidade não comprometida

Medidas Preventivas → Ar incorporado; baixa relação a/c; cura bem feita; Evitar o congelamento inicial

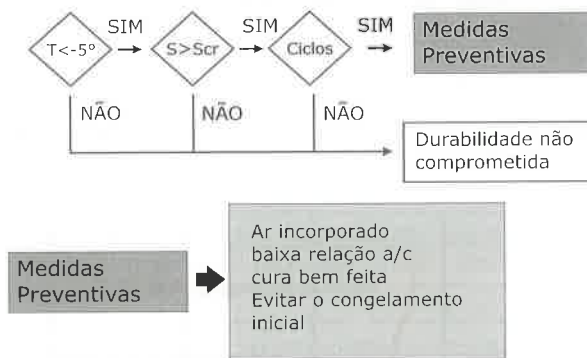



Figura 1.4.4 Diagrama para interpretar as condições de ocorrência de dano

Finalmente, se levarmos em conta todos estes conceitos, poderemos definir claramente as situações que exigem a prevenção da deterioração associada aos ciclos de congelamento e degelo, o que se consegue mediante a incorporação de ar, conforme mostra a Figura 1.4.4.

O ar incorporado artificialmente proporciona «centros de alívio de tensões» e para isto deverá estar distribuído uniformemente, formando pequenas bolhas dentro da massa. Por isto, é indispensável empregar um aditivo químico do tipo incorporador de ar na mistura[1].

Aspectos típicos da deterioração por ciclos de congelamento e degelo

Internamente, as tensões provocadas induzem fissuras que se propagam pela pasta (matriz), vinculando poros, porém faceando os agregados. A Foto 1.4.1 é esclarecedora.

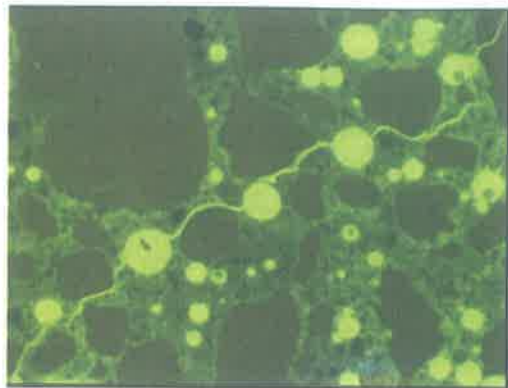



Foto 1.4.1 Imagem digital de uma seção de concreto com ar incorporado, onde é mostrada uma fissura originada por efeito de congelamento.

Dado que o dano está associado a altos teores de umidade e exposição a baixas temperaturas, macroscopicamente ele se manifesta sob dois tipos diferentes, descamação («scaling») e fissuras paralelas ou subparalelas às zonas mais úmidas.

Foto 1.4.2 Pavimento deteriorado superficialmente (descamação) coincidindo com as zonas de acumulação de água.

---

[1]N.T.:Como os aditivos tipo **MICRO AIR 883** ou **MICRO AIR EC**, que são do tipo IAR. A norma brasileira, NBR 11768/1992: Aditivos para concreto de cimento portland, classifica os aditivos em tipo P, plastificante, R, retardador, A, acelerador, PR, plastificante acelerador, IAR, incorporador de ar, SP, superplastificante, SPR, superplastificante retardador e SPA, superplastificante acelerador.

No caso de pavimentos danificados, a zona mais úmida corresponde às juntas porque ali se concentra a fissuração. Observando de cima, pode-se perceber uma letra «D», denominando-se este tipo de fissuração como «D-cracking», em inglês. A Foto 1.4.2 ilustra a coincidência entre a deterioração superficial do concreto e as zonas de acumulação de água.

1.4.2 Ação do fogo sobre as estruturas de concreto armado

O efeito do fogo sobre as estruturas de concreto é um problema complexo, e parte desta complexidade deve-se a que, no concreto, que é um material compósito, os diferentes constituintes não reagem da mesma forma diante da ação das altas temperaturas.

O grau de alteração que pode ser produzido no concreto e seus constituintes vai depender principalmente do nível de temperatura alcançado, do tempo de exposição e do traço do concreto.

Para realizar os estudos dos efeitos produzidos sobre uma estrutura ou um elemento construtivo, é necessário modelar um fogo real, já que cada incêndio é um processo diferente do outro, onde intervêm numerosas variáveis, como o tipo e a disposição espacial dos materiais combustíveis, a ventilação, as possíveis barreiras ou compartimentos que possam existir, o caráter e a disposição dos meios de combate a incêndios, ou a rapidez e eficácia dos serviços de bombeiros.

Portanto, no caso de incêndio, as avaliações ou comprovações de segurança de uma estrutura de concreto ou de seus elementos componentes deverão ser realizadas sobre modelos simplificados com relação à situação teórica real, sendo ainda assim de importância as conclusões que possam ser tiradas no momento de realizar avaliações sobre estruturas danificadas em sinistros reais.

Podemos analizar os efeitos produzidos pelo fogo sobre o concreto armado tendo em vista os efeitos produzidos sobre o concreto, o aço, a vinculação existente entre ambos no concreto armado, as conseqüências quando as dilatações estão total ou parcialmente impedidas e os esforços produzidos em conseqüência dos gradientes térmicos.

Alterações produzidas no concreto

O **calor específico** (quantidade de calor necessária para elevar a uma certa temperatura uma determinada massa de substância, expressa em J/kg.K) do concreto normal aumenta com a temperatura.

Na Figura 1.4.5 observa-se um pico ao atingir-se os 100 ºC devido ao calor absorvido pela água intersticial durante a evaporação.

Isto produz retardamento na passagem do calor para o interior da massa. Porém, em compensação por este efeito positivo da umidade, a evaporação da água contida nos poros não permeáveis faz com que seja produzido um forte aumento na pressão interna, que pode dar origem a lascamentos («spalling») explosivos do concreto de cobrimento, daí a importância de sua espessura.

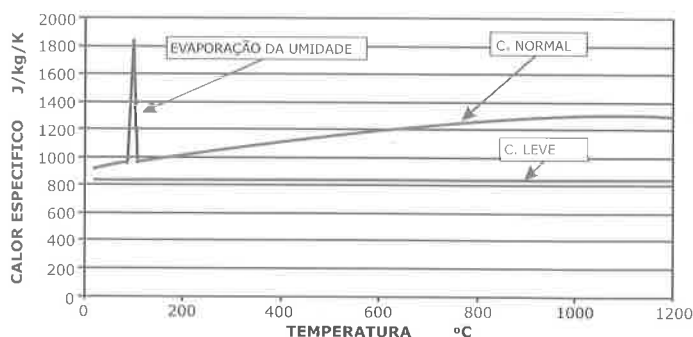



Figura 1.4.5

A condutividade térmica do concreto é baixa, sendo menor em concretos leves que nos fabricados com agregados calcários, e menor nestes que nos fabricados com agregados silicosos. Ver Figura 1.4.6.

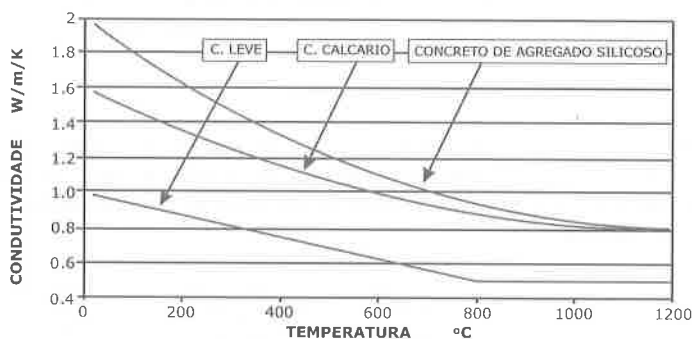



Figura 1.4.6

O coeficiente de dilatação térmica varia com os diferentes tipos de concretos e com a temperatura. Ver Figura 1.4.7.

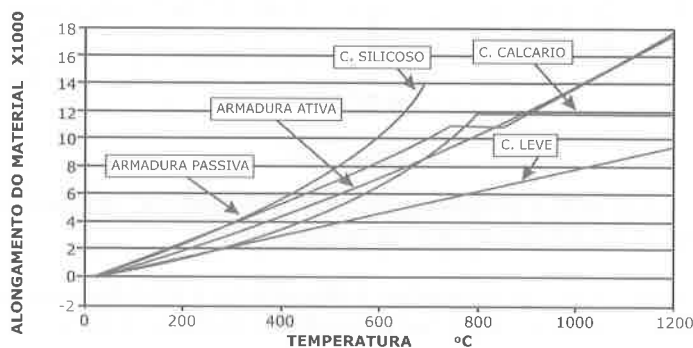



Figura 1.4.7

A partir da temperatura ambiente até uma temperatura de aproximadamente 500 ºC, as dilatações produzidas no concreto de agregados silicosos e no aço são muito semelhantes.

O aspecto do concreto normal de cimento Portland sofre uma série de mudanças ao ser submetido a altas temperaturas, que podem permitir a um especialista, diante de um incêndio e em um primeiro exame visual, apreciar qualitativamente o dano produzido.

- Entre 300 e 600 ºC, tonalidade rosácea, por alteração dos compostos de ferro. O concreto perde até 60 % da resistência incial à compressão.
- Até 900º C, cor cinza claro. Neste estágio de temperatura, começa a degradação dos compostos do aglomerante endurecido. O concreto fica poroso e friável. Ao esfriar a superfície das peças, permanecendo o interior muito quente, é produzida uma série de fissuras que se cortam ortogonalmente (fissuração tipo "pele de crocodilo"). O concreto perde entre 60 % e 90 % da resistência inicial.
- Acima dos 900º C, o concreto adquire um tom esbranquiçado a amarelecido. Perde qualquer resistência residual.

Alterações produzidas no aço

A capacidade última do aço diminui com a temperatura, porém a deformação máxima permanece estável, em torno de 2,5 %, e o diagrama tensão-deformação resulta alterado para temperaturas muito inferiores às que produzem a diminuição da capacidade última.

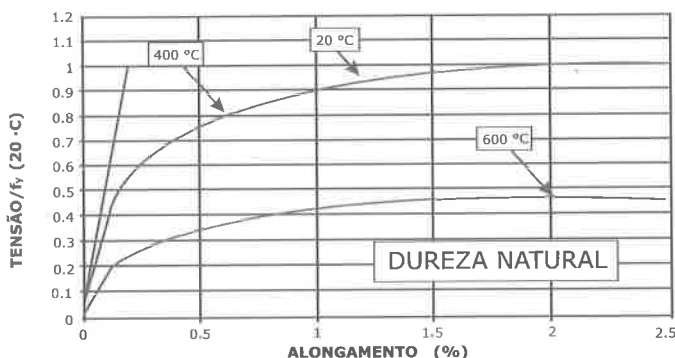



Figura 1.4.8

Se o aço foi submetido a temperaturas inferiores a 600 ºC, ao resfriar-se recupera praticamente a totalidade de sua capacidade inicial.

Os aços de dureza natural recuperam praticamente a totalidade de sua capacidade resistente após o resfriamento ter atingido temperaturas de até 1.000 ºC.

Os aços encruados por deformação a frio apresentam uma perda de resistência residual de até 25-30 % para temperaturas da ordem de 700 ºC.

Os aços para protensão podem atingir perdas maiores. Além disso, como muitas vezes estes aços são usados em vigotas e lajes pré-fabricadas, com pouco cobrimento das armaduras, no caso de incêndio alcançam elevadas temperaturas muito rapidamente.

O resfriamento brusco das armaduras expostas pela água nos trabalhos de extinção do fogo pode produzir, por sua vez, o temperamento e a fragilização do aço.

A redução da capacidade resistente dos materiais pode ser observada no gráfico da Figura 1.4.9.

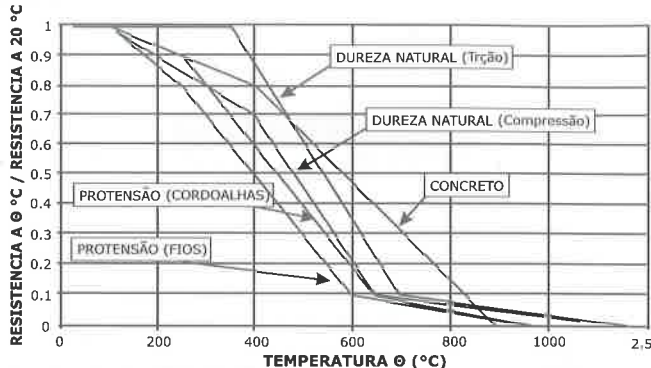



Figura 1.4.9

Alterações na aderência aço-concreto

A avaliação da perda de aderência das armaduras em uma estrutura de concreto armado afetada por incêndio é um tópico difícil.

O concreto e o aço têm aproximadamente o mesmo coeficiente de dilatação térmica, e portanto sua utilização conjunta é otima. Entretanto, seus coeficientes de transmissão de calor diferem bastante, sendo o aço um bom condutor de calor, enquanto que o concreto é um isolante térmico.

Quando por alguma razão existe um foco de incêndio localizado ou a perda do cobrimento em alguma região, ocorrem aquecimentos localizados das armaduras, o aço transmite rapidamente o calor produzindo a dilatação das barras em zonas em que o concreto ainda está relativamente frio. Assim, são produzidas compressões que superam amplamente a capacidade resistente do concreto, que se microfissura em uma zona tubular que envolve a barra. Enquanto as temperaturas permanecem altas, o aço continua comprimindo o concreto e mesmo que fique oculta a diminuição da capacidade de ancoragem, as condições de aderência estarão irreversivelmente e gravemente deterioradas. (Figura 1.4.10).

Isto faz com que na análise da capacidade residual da estrutura após um incêndio, geralmente sejam determinantes as condições de aderência.

Figura 1.4.10

Foto 1.4.3. Estado de uma estrutura depois de sofrer incêndio

Deformações impedidas

Quando em uma estrutura aparecem zonas de altas temperaturas, esta responde ao incremento de temperatura com um aumento do comprimento dos elementos afetados. Deste modo, podem aparecer esforços importantes nos topos de pilares por dilatação das vigas que concorrem ali ou nas paredes quando suportam lajes afetadas.

Gradiente térmico

Quando uma peça de concreto se aquece (Foto 1.4.3) aparece um gradiente de temperaturas médio, que gera uma deformação diferencial das diferentes fibras da seção, onde as fibras mais quentes se alongam (em geral, nas lajes ou vigas, são as fibras inferiores).

Foto 1.4.4

A Foto 1.4.3 mostra a ruptura do canto de uma laje em conseqüência de incêndio no seu interior. Como se vê, a ruptura é equivalente à gerada por uma carga no piso superior.

Se este alongamento não for limitado, será produzido um aumento das flechas (curvatura da peça no mesmo sentido dos momentos positivos). Caso a peça tenha a deformação limitada nos extremos, haverá um aumento dos momentos

negativos porque serão geradas compressões na face inferior da peça; deste modo, podem-se produzir trações na face superior em zonas em que não há armaduras suficientes para absorvê-las.

Ao serem aumentados os momentos negativos, aumenta a profundidade das zonas comprimidas em regiões que podem estar muito solicitadas, por exemplo aquelas próximas aos apoios das vigas.

Também é preciso ter em conta que as fibras submetidas a altas temperaturas têm sua capacidade e módulo de deformação inferiores aos valores iniciais, o que exige maior profundidade da zona comprimida. Isto vai contra a dutilidade da seção, necessária para acompanhar as rotações exigidas pela nova distribuição de momentos fletores na peça para descarregar o aumento dos momentos negativos, com o que poderá ser produzido o esmagamento com ruptura frágil do concreto.

O gradiente térmico do concreto não é uniforme devido a sua baixa condutividade térmica. Por este motivo, as diferentes fibras da seção sofreriam uma deformação que conduziria a uma seção não plana, pelo que são geradas tensões secundárias entre as fibras para compensar esse efeito, que podem gerar um enfraquecimento interno que afeta a capacidade dos elementos.

Finalmente, o nível de dano produzido na estrutura de um edifício de concreto armado pode ser tal que o faça perder a estabilidade, porém no caso de não ser assim, será necessário definir o grau de comprometimento da estrutura para decidir entre a demolição ou a recuperação. Ver Foto 1.4.5.

Foto 1.4.5 Dano produzido na estrutura de um edifício de concreto armado

Um dos meios mais comumente empregados para verificar o grau de comprometimento de uma estrutura é o da auscultação por ultra-som, complementado com a ruptura de corpos-de-prova extraídos da estrutura, porém isto deverá estar respaldado por profissionais com grande experiência no assunto.

1.4.3 Ataque por ácidos e bases

A pasta de cimento é um material fortemente alcalino (pH > 12,5), portanto normalmente não sofrerá ataque específico por materiais básicos.

Altas concentrações de materiais alcalinos, ao entrar em contato com o concreto durante processos industriais, causam deterioração somente através de processos que não provêm da reação química direta com íons hidroxila, tal como a reação álcali-sílica.

A situação é inteiramente diferente para as soluções ácidas, que atacam diretamente materiais básicos como o concreto. A conseqüência do ataque ácido é a desintegração da pasta de cimento, ficando expostos os agregados. Se estes forem do tipo calcário, também poderão vir a ser atacados. Nas Foto 1.4.6 e Foto 1.4.7 pode-se observar o aspecto superficial de dois concretos atacados.

Foto 1.4.6 Aspecto de um concreto atacado por ácidos. Nota-se que o agregado silicoso ficou exposto na superfície, mas não foi atacado quimicamente

Como efeito secundário, porém não menos importante, é preciso destacar a redução da alcalinidade e a conseqüente perda de passivação das armaduras ficando expostas a fenômenos corrosivos.

Foto 1.4.7 Aspecto de um concreto atacado por ácidos. Vê-se que o agregado calcário também foi atacado quimicamente

Condições de ocorrência

Geralmente, não são comuns no solo águas ácidas naturais, estando reduzidas a regiões pantanosas ou úmidas, onde existe decomposição de matéria orgânica.

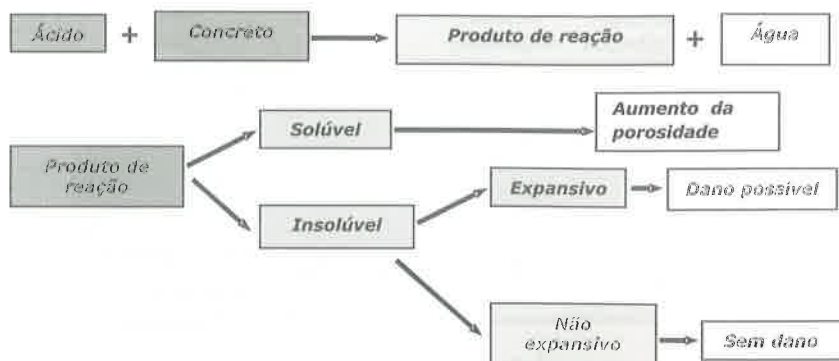
Águas ácidas podem encontrar-se em regiões próximas a solos de aterro e em lugares onde há armazenamento de resíduos de minérios. Os resíduos agrícolas e industriais, particularmente procedentes da indústria alimentícia ou de processamento de animais, podem provocar condições altamente ácidas.

A acidez das águas naturais deve-se geralmente ao anidrido carbônico (CO_2) dissolvido, que se encontra em concentrações consideráveis em águas minerais, água do mar e águas subterrâneas em contato com vegetais ou animais em decomposição.

Águas com teor de CO_2 de 15 a 40 mg/dm^3 são consideradas normais; entretanto, são freqüentemente encontradas concentrações da ordem de 150 mg/dm^3. Como referência, a água do mar contém de 35 a 60 mg/dm^3 de CO_2.

Como regra geral, quando o pH da água subterrânea ou do mar for maior ou igual a 8, a concentração de CO_2 é insignificante; quando o pH é menor que 7, podem existir concentrações de CO_2 prejudiciais. A determinação do índice de Baumann-Gulli modificado pode trazer informação significativa quando há suspeita de ataque por águas ácidas.

De acordo com o tipo de ácido de que se trate, a situação será mais ou menos comprometedora. Quando o ácido ingressa na massa de concreto, se os sais formados são insolúveis e expansivos, podem provocar a deterioração do concreto. Se, pelo contrário, os produtos resultantes são solúveis, é produzido um incremento paulatino na porosidade e é acelerado o processo de desgaste e

deterioração, como no caso de desaguadouros ou de líquidos fluindo através ou sobre o concreto.

No Quadro 1.4.1 são indicados alguns exemplos de ácidos que formam sais solúveis e insolúveis.

Quadro 1.4.1 Ataque ácido ao concreto

Ácido	**Fórmula**	**Ocorrência**
Ácidos agressivos que formam sais de cálcio solúveis		
Ácido clorídrico	HCl	Indústria química
Ácido nítrico	HNO_3	Indústria de fertilizantes
Ácido acético	CH_3CO_2H	Processos de fermentação
Ácido fórmico	$H.CO_2H$	Indústria de alimentos e pigmentos
Ácido láctico	$C_2H_4(OH).CO_2H$	Indústria de laticínios
Ácido tânico	$C_{76}H_{52}O_{46}$	Indústria do tanino, águas pantanosas
Ácidos que formam sais insolúveis		
Ácido fosfórico	H_3PO_4	Indústria de fertilizantes
Ácido tartárico	$[CH(OH).CO_2H]_2$	Indústria vitivinícola

Os açúcares em solução geram ácidos por processos fermentativos, pelo que não devem entrar em contato direto com o concreto por períodos prolongados. Não apenas é dissolvido o hidróxido de cálcio, mas também os componentes da pasta responsáveis pela resistência mecânica também são atacados de forma progressiva.

A velocidade do ataque depende de outros fatores, acelerando-se com o aumento de temperatura. Mesmo assim, deve-se levar em conta que os agentes químicos corrosivos podem atacar o concreto apenas na presença da água. No Quadro 1.4.2 podem ser apreciadas as diferentes velocidades de ataque de alguns ácidos.

Quadro 1.4.2 Velocidade de ataque ao concreto de algumas substâncias químicas

Vel. de ataque à temp. ambiente	Ácidos inorgânicos	Ácidos orgânicos	Soluções alcalinas	Soluções salinas	Vários
Rápida	Clorídrico Fluorídrico Nítrico Sulfúrico	Acético Fórmico Láctico	----	Cloreto de alumínio	----
Moderada	Fosfórico	Tânico	Hidróxido de sódio 20 %	Nitrato e sulfato de amônio Sulfatos de sódio, magnésio e cálcio	Bromo (gás) Sulfito líquido
Lenta	Carbônico	---	Hidróxido de sódio 10-20 % Hipoclorito de sódio	Cloreto de amônio e magnésio Cianureto de sódio	Cloro (gás) Água do mar Água doce
Desprezível	---	Oxálico Tartárico	Hidróxido de sodio 10 % (*) Hipoclorito de sódio Hidróxido de amônio	Cloreto de cálcio e sódio Nitrato de zinco Cromato de sódio	Amoníaco líquido

(*) Evitar o uso de agregados silicosos porque são atacados por soluções concentradas de hidróxido de sódio.

1.4.4 Ação dos sulfatos

Os sulfatos em solução aquosa atacam os concretos de cimento Portland provocando reações expansivas que podem conduzir à deterioração do elemento estrutural. Os íons sulfato podem estar presentes tanto em soluções ácidas, caso do ácido sulfúrico, em soluções alcalinas como o sulfato de amônio, ou em sais, entre os quais pode-se mencionar os sulfatos de cálcio, de magnésio e de sódio.

Deve ser então separado o processo de ataque específico do íon sulfato do ataque correspondente a um dado tipo químico ou ao cátion. Por este motivo, nos referiremos estritamente ao efeito prejudicial do íon sulfato, independentemente do tipo química.

O mecanismo de dano é associado à formação de compostos expansivos, tipicamente a etringita secundária e o gesso cristalizado. A Foto 1.4.8 ilustra as expansões produzidas.

Foto 1.4.8 Expansão de argamassa causada por ataque de sulfatos

A severidade do ataque está condicionada à velocidade de ingresso da solução ao concreto, à concentração desta solução, ao tipo químico propriamente dito e ao tipo de cimento empregado.

Velocidade de ingresso:

Na atualidade, considera-se que os concretos de baixa permeabilidade, ou seja, com baixa relação água/cimento, bem adensados e bem curados, são pouco suscetíveis de serem atacados por sulfato, e os casos reais documentados de deterioração correspondem a concretos porosos e com deficiência de cura.

Concentração de íon sulfato na solução:

A concentração do íon sulfato em solução é determinante da severidade do ataque, podendo-se definir diferentes graus de severidade em função do conteúdo em mg de sulfato para cada 1.000 g de solução. A respeito deste tópico, pode ser encontrada informação complementar em diferentes normas técnicas e bibliografia.

Tipo químico propriamente dito:

Tal como se indicou em parágrafo anterior, ao estimar a agressividade potencial das soluções de sulfato, é preciso levar em conta o tipo químico, se ácido ou base, e o cátion que acompanha o sulfato, se é sódio, cálcio, magnésio ou outro.

Para cada caso, mesmo que o ataque específico por sulfato seja semelhante, é preciso levar em conta o conjunto de produtos de reação, já que podem ocorrer mecanismos que aumentam a severidade do dano. Um exemplo típico é o ataque por ácido sulfúrico, que deve ser considerado tanto do ponto de vista do ataque ácido como por íon sulfato.

Tipo de cimento empregado:

É comum associar a suscetibilidade de dano ao teor de fases aluminato presentes

no cimento empregado na produção do concreto e assim está nas normas técnicas, que estabelecem os teores máximos de fases aluminato para que um cimento seja considerado de alta resistência a sulfatos.

Não obstante, existe a tendência de avaliar o comportamento dos cimentos com um enfoque mais realista, a partir de ensaios normalizados que avaliam as expansões efetivamente produzidas.

A este respeito, cabe indicar que os cimentos com adições costumam apresentar comportamentos satisfatórios diante do ataque leve e moderado por sulfatos.

Ataques por sulfatos em água do mar

A água do mar contém sulfatos em solução. Isto faz com que sejam encontradas algumas especificações técnicas que indicam, erroneamente, o emprego de cimentos com alta resistência a sulfatos.

A presença do conjunto de substâncias dissolvidas na água do mar, e particularmente os íons cloreto, modifica a situação, limitando a severidade do ataque. Além disso, quando se trata de estruturas armadas, o ingresso de cloretos conduz à corrosão das armaduras, processo muito mais severo que o ataque potencial pelos íons sulfato.

Por este motivo não deve ser especificado o uso de cimentos de alta resistência a sulfatos, porque são mais permeáveis aos íons cloreto.

A corrosão das armaduras é um problema mais severo que o ataque ao concreto.

Foto 1.4.9 Concreto atacado por água do mar

1.4.5 Reações deletéreas dos agregados

Embora em primeira instância seja admitido que os agregados para concreto sejam inertes, freqüentemente eles interagem com o meio em que estão imersos (a pasta de cimento) e produzem reações expansivas que podem deteriorar o concreto.

O tipo de reação está associado à mineralogia e origem do agregado, porque em diferentes regiões geográficas são mais comuns alguns tipos de reação que outros.

Dentre as reações prejudiciais dos agregados podem ser citadas:

- Reação álcali-agregado, que inclui a reação álcali-sílica e álcali-carbonato
- Reação expansiva de basaltos contaminados com argilas expansivas
- Reação deletérea de agregados calcários na presença de sulfatos, com formação de taumasita
- Reação expansiva de piritas.

O mecanismo de reação é complexo e em cada caso envolve condições de ocorrência particulares, porém geralmente está associado a concretos com saturação permanente ou semipermanente.

A Foto 1.4.10 e Foto 1.4.11 mostram estruturas consideradas afetadas por reação álcali-agregado. Notar que em ambos os casos, o concreto encontra-se saturado.

Foto 1.4.10

Foto 1.4.11

Em alguns casos, os efeitos manifestam-se após vários anos (mais de 15) da construção das estruturas, e esta característica faz com que sejam difíceis de prever em espaço de tempo razoável, em condições de laboratório. Por este motivo, designam-se como «potencialmente reativos» os minerais ou agregados com maior probabilidade de reação ou cuja reação é mais violenta.

Praticamente não existem mecanismos para deter as reações uma vez iniciadas, pelo que é necessário atuar de forma preventiva, garantindo a adequabilidade dos agregados que forem empregados na produção do concreto. Neste ponto,

é importante a participação de geólogos especializados em agregados para concreto. É útil comentar também que os especialistas indicam que os ensaios confiáveis para confirmar a adequabilidade de um agregado têm duração de 6 meses a um ano.

O procedimento para realizar um diagnóstico preciso deste tipo de reações constitui toda uma especialidade, e é preciso recorrer a técnicas sofisticadas e a especialistas na matéria. Não deve ser cometido o erro, bastante comum, de realizar um diagnóstico deste tipo de ação deletéria baseando-se na morfologia da fissuração.

Como medida orientativa poderíamos dizer que se não for possível atribuir o dano a causas mais comuns (secagem prematura, fissuração plástica, efeitos de congelamento, ataques por sulfatos, etc.), deverá ser iniciada uma análise profunda a partir de amostras do concreto com a realização de exames petrográficos e mineralógicos do agregado.

Por fim, se for considerado que os agregados são potencialmente reativos, deverá ser completada a bateria de ensaios com métodos complementares, que devem ser conduzidos e interpretados por especialistas.

1.4.6 Abrasão e desgaste

As ações associadas a esforços que provocam um desgaste da superfície exposta do concreto podem-se agrupar como fenômenos de abrasão e desgaste, ainda que mais especificamente se considere abrasão quando há uma ação mecânica por arraste de sólidos sobre a superfície.

O arraste de sedimentos em um canal revestido, a ação de pneus com correntes ou pregos para circulação sobre superfícies congeladas, o transporte de sólidos em uma tubulação de transmissão e a situação de um vertedor de uma represa são situações típicas onde ocorre erosão.

Foto 1.4.12 Desgaste de um pavimento em região fria

Em geral, salvo estruturas particulares como as mencionadas, estão particularmente sujeitos a desgaste os pisos industriais e os pavimentos em geral. A ação de rodas maciças dos porta-páletes é essencialmente enérgica e pode provocar a deterioração progressiva da superfície de rodagem.

A Foto 1.4.12 ilustra o desgaste de um pavimento em zona fria, por ação das correntes e pregos dos pneus. Vê-se claramente o sinal de desgaste coincidente com a região transitada.

Em geral, a resistência ao desgaste está associada à resistência intrínseca do concreto, porém é particularmente importante a qualidade e dureza do agregado empregado e a eficiência da cura superficial. As operações de desempeno e acabamento superficial devem ser realizadas sem acrescentar água e evitando remisturar a água exsudada. Para melhorar a resistência à abrasão podem ser usados endurecedores minerais e/ou químicos, ou empregar-se concretos especiais (com fibras de aço, por exemplo).

Em muitos casos, a ação mecânica se soma a ataques químicos que enfraquecem a pasta de cimento, tornando ainda mais severo o ataque.

A Foto 1.4.13 mostra a superfície do concreto de uma defensa de rio submetida a abrasão, erosão e ataque químico.

Foto 1.4.13 Superficie de concreto submetida a abrasão e erosão

Nas superfícies de concreto em contato com água em movimento rápido, podem-se apresentar regiões onde a corrente tenda a se separar, criando então zonas de baixa pressão que produzem cavidades, que posteriormente conduzem a um lascamento progressivo do concreto.

1.4.7 Lixiviação e eflorescência

As eflorescências, ilustradas na Foto 1.4.15, ocorrem freqüentemente na superfície do concreto quando a água tem a possibilidade de percolar através do material, de forma intermitente ou contínua, ou quando uma face exposta sofre o processo

de umedecimento e molhagem de forma alternada.

As eflorescências consistem no depósito de sais que são lixiviados para fora do concreto, cristalizam-se após a evaporação da água que as transportou ou pela interação com o dióxido de carbono da atmosfera. Entre os sais típicos podemos citar os sulfatos e carbonatos de sódio, potássio ou cálcio.

O que geralmente se encontra em maior proporção é o carbonato de cálcio.

As eflorescências prejudicam a estética, porém por si só não constituem um problema específico de durabilidade; no entanto, indicam que existem processos de solubilização e transporte de sais a partir do interior da massa, revelando fenômenos de lixiviação (Foto 1.4.14). Isto pode levar a um aumento de porosidade, diminuindo a resistência, aumentando a permeabilidade, tornando o concreto mais vulnerável a outros ataques e conseqüentemente afetando indiretamente a durabilidade.

Podem-se citar casos estudados onde uma diminuição de cerca de 25 % do teor de hidróxido de cálcio do concreto produziu até 50 % de redução em sua resistência original.

Influi no processo a capacidade das águas de solubilizar os compostos existentes e sua solubilidade relativa.

As águas puras originadas da condensação da névoa ou do vapor d'água, e a água branda de chuva ou a água proveniente da neve ou do gelo são as mais agressivas, pois contêm íons cálcio e atuam principalmente sobre o hidróxido de cálcio que é o mais solúvel dos compostos presentes na pasta de cimento hidratada. As águas duras, com alto teor de íons cálcio, são menos perigosas.

A temperatura da água é um fator incidente, já que a solubilidade do hidróxido de cálcio aumenta com a diminuição da temperatura.

A lixiviação é maior especialmente quando a água passa através do concreto sob pressão. Quando a água circula sobre a superfície, o concreto pode apresentar lixiviação na face oposta ou no caso de tubulações nas zonas próximas ao trecho sem contato da água.

O hidróxido de cálcio dissolvido reage com o dióxido de carbono do ar e gera carbonato de cálcio, que é uma eflorescência de cor esbranquiçada. Uma forma de detectar a presença deste sal é verter algumas gotas de ácido clorídrico e observar a efervescência se existir o sal.

Os fenômenos de lixiviação dos hidróxidos alcalinos conduzem também a uma redução do pH do concreto e, eventualmente, a uma redistribuição interna do teor de álcalis. Estas variações podem induzir a ocorrência de outros fenômenos, dependendo das condições de exposição e as características dos materiais componentes. Entre estes fenômenos, os mais graves são a corrosão das armaduras de reforço e as expansões em massa do concreto por reatividade alcalina dos agregados.

Foto 1.4.14 mostra um processo de lixiviação com formação de estalactites

Foto 1.4.15 mostra eflorescências generalizadas com perda de alcalinidade e corrosão de armaduras.

1.5 Ações induzidas

1.5.1 Fluência

A fluência é um fenômeno que se apresenta com diferentes magnitudes de acordo com o material que se analise, e basicamente consiste no aumento da deformação do elemento carregado quando é mantida constante a tensão sobre o elemento.

O concreto armado tem a tendência de manifestar este fenômeno, e o aço por outro lado apresenta valores praticamente desprezíveis de fluência; por esta razão, nas peças de concreto armado as armaduras longitudinais limitam a deformação.

A fluência do concreto é atribuída ao efeito produzido pela carga nele atuante sobre a água contida no gel e capilares do elemento de concreto.

Quanto aos efeitos no comportamento da estrutura de concreto armado ou protendido, podem ser feitas as seguintes considerações[1]:

A deformação por fluência do material, analisada em um mesmo intervalo de tempo, é proporcional à tensão, ou seja, para tensões altas a fluência se manifestará com maior intensidade.

Um concreto carregado a baixa idade apresenta uma fluência maior que se o processo de carga demorar no início. A razão, dentre outras, é o baixo módulo de elasticidade, que conduz a deformações elásticas maiores e conseqüentemente maiores deformações por fluência.

O fenômeno da fluência do material faz com que às vezes ocorram danos em edifícios altos, quando após um certo tempo ocorre a ruptura das paredes divisórias de tijolos. Isto ocorre porque com o tempo os pilares tendem a encurtar, porém as paredes de alvenaria tentam impedir isso por serem menos deformáveis, o que implica uma transferência de carga às alvenarias, que em determinado momento não podem suportar a carga, e ocorre a ruptura, às vezes acompanhada de estalidos, pois se trata de um material frágil.

Esta situação se apresenta também em edificações quando existem pilares projetados para suportar exclusivamente força centrífuga, muito solicitados, e paredes projetadas para suportar cargas móveis e do vento, mas que em geral estão solicitadas permanentemente por tensões muito menores. Isto dá origem a deformações elásticas e diferidas, marcadamente diferentes em ambos elementos estruturais, e conseqüentemente à flexão e às vezes à fissuração das vigas e/ou das lajes, assim como rupturas nas vedações.

Baixos teores de umidade e uma maior relação água/cimento favorecem a fluência, o mesmo que pôr em carga a estrutura quando o concreto está ainda com pequena idade.

---

[1]N.T.: A NBR 6118/2003, Projeto de estruturas de concreto, traz informação relevante sobre a fluência do concreto no Anexo A: Efeito do tempo no concreto estrutural.

Em função dos fatores mencionados, a deformação final devida à fluência, que se desenvolve em sua totalidade em um prazo compreendido entre 2 e 5 anos, pode alcançar de 1 a 3 vezes o valor da deformação elástica. Em geral, no primeiro ano desenvolve-se aproximadamente 80 % da deformação total.

Na maior parte dos casos a fluência do concreto somente modifica a deformação da estrutura e a distribuição dos esforços entre o concreto e o aço. Em se tratando de uma peça de concreto armado com armadura simétrica, o fenômeno é equivalente a uma diminuição no módulo de elasticidade.

Por exemplo, em um pilar de concreto armado carregado axialmente, tanto o concreto como o aço estão comprimidos; entretanto, com o passar do tempo, e em conseqüência principalmente da fluência e da retração, o concreto passa a encurtar-se, mas não o aço. Em conseqüência da aderência entre ambos, ocorre uma transferência de esforços, o aço se recarrega, e o concreto por outro lado sofre menor solicitação.

Em geral, a fluência favorece o comportamento da estrutura quando as ações são internas, como a retração de secagem, as variações de temperatura, ou pelo recalque ou a rotação de uma fundação.

Em contrapartida, a sua influência pode ser negativa, por exemplo quando se impõe uma deformação de forma voluntária, como no caso do concreto protendido, aplicada com a idéia de melhorar a distribuição dos esforços internos, já que parte do objetivo se perde em conseqüência da deformação por fluência.

1.5.2 Recalques

Entre as causas mais freqüentes da aparição de fissuras e danos nas estruturas de concreto armado estão os denominados recalques diferenciais.

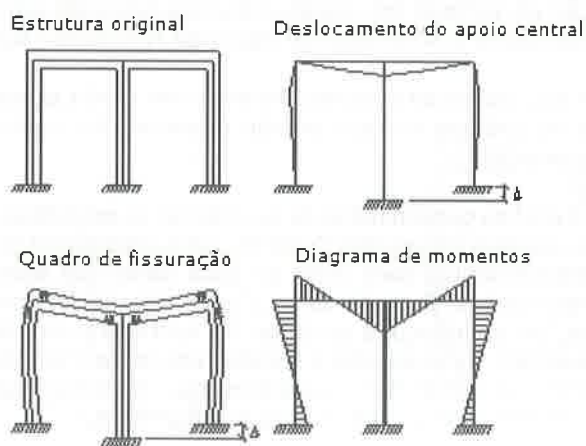



Figura 1.5.1 Recalque diferencial

Quando todos os apoios de uma estrutura apresentam os mesmos deslocamentos verticais, em geral a estrutura não se vê submetida a nenhum estado tensional adicional, porém se tais valores forem sensivelmente diferentes, as conseqüências sobre a estrutura podem ser significativas, tanto do ponto de vista de sua resistência quando da durabilidade.

Estas diferenças no comportamento dos apoios da estrutura de concreto provocam nas estruturas um estado tensional adicional que, se não for considerado no projeto, pode produzir um quadro de fissuras não desejado e inclusive a ruptura de algum elemento estrutural ou de vedação (Figura 1.5.1).

Geralmente este movimento diferencial é denominado «deslocamento de apoio»

Os recalques diferenciais podem ser provocados por diferentes causas, algumas das quais, e as mais importantes, são mencionadas a seguir:

- Erros de projeto ou de execução das fundações[1].
- Cargas não previstas no projeto original.
- Deformação excessiva do solo (terreno) de fundação, não considerada no projeto por desconhecimento ou informação errônea de suas características.
- Deformação excessiva localizada do solo pela aparição de alterações não previstas (inundação, vibração, erosão, socavamento, etc.).
- Fundação sobre escavação mal coberta, aterros mal executados, alterações do terreno desconhecidas, etc.
- Fundação de uma mesma estrutura sobre diferentes tipos de solo e/ou utilização de diferentes sistemas de fundação ou diferentes níveis da fundação.
- Alterações por construções vizinhas.
- Existência de solos expansivos.
- Injeção do terreno em zonas próximas gerando um importante empuxo vertical sobre a superfície de apoio da fundação (subida dos apoios).

O projeto de estruturas de concreto levando em conta as solicitações originadas nas descidas ou subidas dos apoios não é comum na prática da Engenharia em edificações comuns.

Isto se deve à prática generalizada de considerar as estruturas de concreto armado formadas por placas e elementos lineares, suficientemente flexíveis para absorver pequenos deslocamentos para cima ou para baixo dos apoios, sem solicitações adicionais importantes. Quando os recalques diferenciais podem ser previstos e quantificados, as solicitações geradas na estrutura em conseqüência de sua existência deveriam ser avaliadas e levadas em conta, considerando-os no projeto ou modificando as condições existentes que gerariam tais recalques com o propósito de eliminá-los ou diminuir sua magnitude.

[1] N.T.: A norma brasileira aplicável é a NBR 6122/1996: Projeto e execução de fundações.

Nos casos de estruturas muito rígidas, como as formadas por vigas de grande altura, paredes apoiadas em pilares, etc., faz-se imprescindível a análise estrutural considerando a interação solo-fundação-estrutura de forma conjunta. As solicitações geradas pelos recalques diferenciais neste tipo de estruturas rígidas em geral deixam de ser desprezíveis, e portanto deverão ser consideradas no projeto.

Hoje em dia, tanto o cálculo de solicitações por deslocamento dos apoios quanto a análise do conjunto solo-fundação-estrutura foram facilitados notavelmente com a utilização de programas de análise estrutural que permitem modelá-los levando em conta as características mecânicas de cada um deles e a sua resolução por computador.

Em alguns casos práticos, pode-se determinar o grau de risco de aparição de fissuras por recalques diferenciais obtendo-se os valores dos recalques. Uma medida do risco da aparição de tais fissuras pode ser obtida através do valor da distorção angular, conhecendo-se a relação entre o recalque diferencial entre dois pontos e a distância entre os mesmos (Figura 1.5.2):

Distorção angular = (S1 – S2) / L

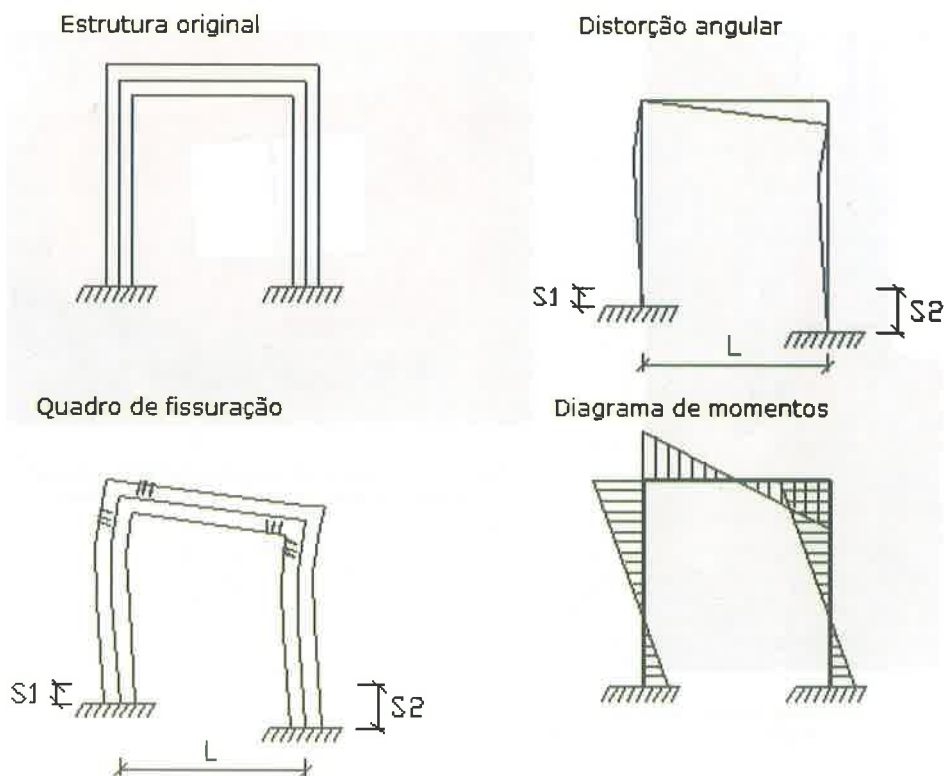



Figura 1.5.2 Distorção angular

Numerosos autores e normas recomendam valores limites para estes recalques, em função do tipo de estrutura, a fim de evitar as conseqüências já vistas. Em geral, e para contar com um certo grau de segurança, propõem-se como limites admissíveis os seguintes valores de distorção angular:

- 1/500 para estruturas hiperestáticas de concreto armado do tipo flexível (pórticos formados por placas e elementos lineares).
- 1/200 para estruturas de concreto armado isostáticas.

Estes valores limites devem ser compatíveis com o tipo de vedações empregados na construção, já que embora não sejam produzidos danos visíveis na estrutura, podem aparecer danos nas vedações, que afetam a estética, a impermeabilidade, etc.

Quando uma parede está envolvida pela estrutura, ao descer um apoio mais que outro, este se vê solicitado por esforços secundários perimetrais, o que equivale a uma distorção angular, onde uma diagonal se alonga e a outra se encurta, com esforços principais de tração e compressão inclinados a 45°. Na direção da diagonal que se alonga aparecerão no muro esforços de tração que, ao atingir valores equivalentes a sua resistência máxima, darão origem a fissuras na direção perpendicular a tal esforço.

Foto 1.5.1 Vista externa dos danos

Foto 1.5.2 Fissuras em pilares e paredes internos produzidas pelo recalque de um dos pilares

Esta é a razão pela qual os recalques provocam em geral nas alvenarias um quadro de fissuras inclinadas a aproximadamente 45° (Ver Figura 1.5.3).

Quando ocorrem recalques em alvenarias (paredes ou muros) com aberturas, estas constituem uma perturbação que gera uma forte concentração de tensões nas bordas dos vãos.

Ali as isostáticas de tração desviam-se gerando fissuras que nascem em cantos opostos, em sentido diagonal, uma configuração típica dos recalques diferenciais, como mostram as Foto 1.5.2 e Foto 1.5.1.

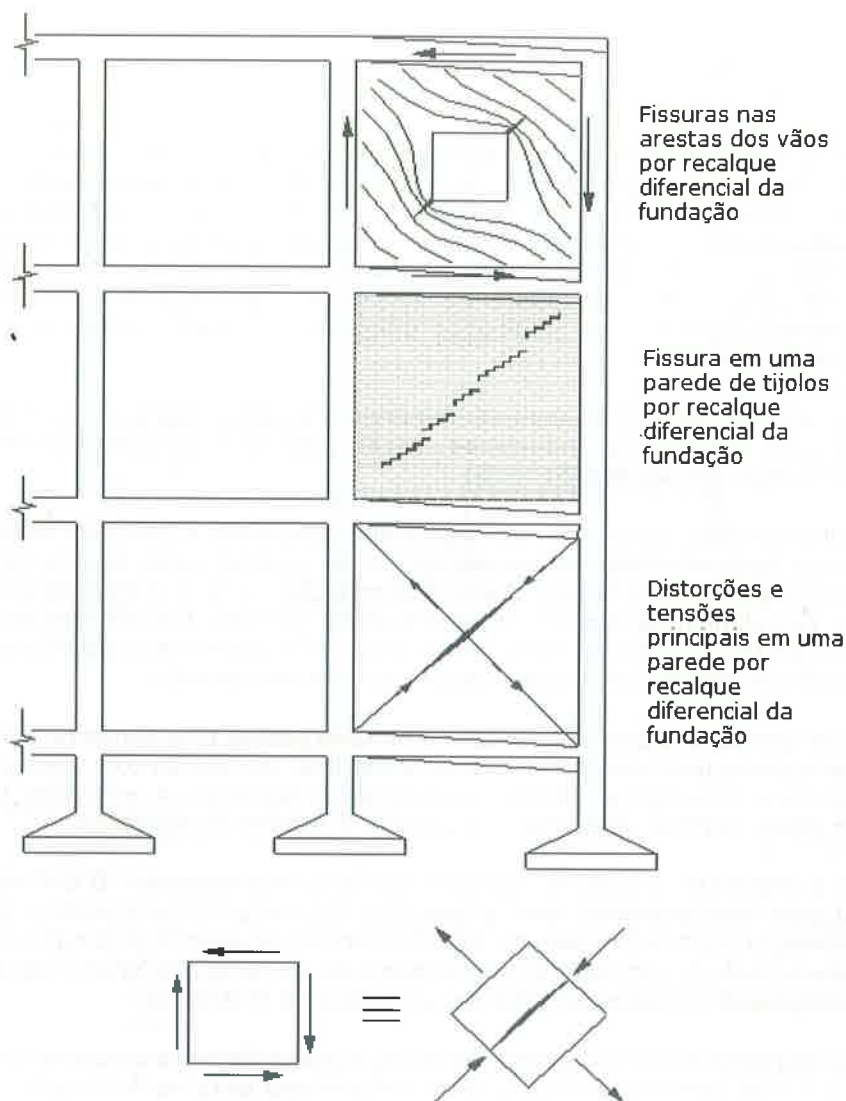



Figura 1.5.3 Recalque em alvenarias

1.5.3 Protensão[1]

A protensão de estruturas de concreto é um método construtivo que permite obter elementos mais duráveis, eficientes, esbeltos, etc. O elemento de concreto é comprimido por meio de cabos de aço especial de alta resistência, que são tencionados a partir de uma de suas extremidades por meio de macacos hidráulicos.

No caso de protensão com cabos sem aderência, estes são engraxados para favorecer o deslizamento. Seu emprego é muito comum nas construções de edifícios.

A protensão materializada com cordoalhas aderidas tem seu maior campo de aplicação na fabricação de vigotas para lajes de mezaninos, e neste caso os cabos são tensionados antes da concretagem do elemento. Outras vezes são deixadas bainhas, geralmente metálicas e corrugadas, incorporadas à massa de concreto, onde se alojam as barras ou cordoalhas, que são tracionadas quando o concreto tiver adquirido resistência suficiente, para finalmente injetar calda (argamassa) de cimento, geralmente utilizando um aditivo expansor, a fim de recuperar a aderência.

Neste último caso, ou quando são empregados cabos engraxados, a tração é feita com o concreto endurecido, razão pela qual comumente recebe a denominação de pós-tensão.

O encurtamento gerado no aço tracionado comprime o concreto da peça de maneira tal a equilibrar as tensões de tração geradas pelas futuras cargas de serviço para as quais foi projetado. A eliminação, como é o caso da protensão total, ou a diminuição das tensões de tração no concreto, por exemplo quando se aplica protensão parcial, elimina ou reduz sensivelmente a possibilidade de aparição de alguma das fissuras típicas do concreto armado.

No caso particular das estruturas com protensão parcial, é fundamental a presença de armaduras passivas de maneira tal a distribuir as fissuras com espaçamentos menores e restringir as fissuras a dimensões capilares. A armadura passiva, além disso, permite aumentar a segurança à ruptura do elemento.

Com a protensão, o concreto comprimido sofre encurtamento. O encurtamento produzido imediatamente após a aplicação das forças de protensão é devido à deformação elástica do concreto. Este primeiro encurtamento depende do módulo de elasticidade do concreto (E), no momento de aplicação das forças e das tensões de compressão geradas no concreto por efeito de protensão.

Posteriormente a este encurtamento inicial, é produzido outro devido ao fenômeno reológico do concreto conhecido como deformação lenta ou fluência («creep»).

[1]N.T.: Dentre as normas brasileiras aplicáveis, tem-se a NBR 7197/1989: Projeto de estruturas de concreto protendido.

A deformação lenta do concreto submetido a esforços de compressão permanentes chega a estabilizar-se depois de aproximadamente 4 anos.

A soma destas deformações (encurtamentos elásticos e deformação lenta) deve ser levada em conta no projeto, de modo a impedir a formação de fissuras não desejadas, já que ambas reduzem os esforços de compressão no concreto.

No caso de pórticos com pilares denominados «curtos» ou com rigidez importante, o efeito do encurtamento das travessas por ação da protensão pode gerar fissuras nos pilares, se no projeto não for considerada tal ação corretamente (ver Figura 1.5.4).

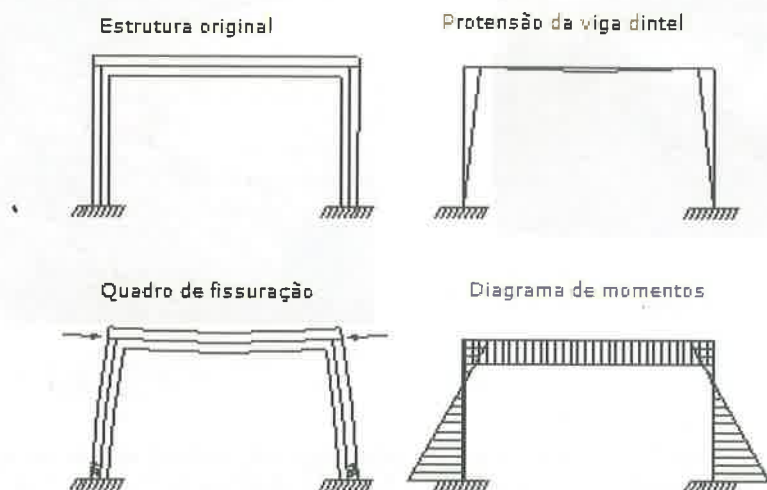



Figura 1.5.4 Fissuras em pórticos por ação da protensão

Adotando algumas precauções clássicas tanto no projeto como na construção das estruturas protendidas a interpretação de possíveis deficiências posteriores ficará facilitada:

- A compressão do concreto somente se produz se for possível seu encurtamento.
- As mudanças de direção do cabo geram forças transversais de tração ou compressão.
- Verificar se as dimensões resultantes permitem realizar satisfatoriamente o enchimento das fôrmas.
- Controlar as armaduras passivas, em particular na zona das ancoragens.
- Verificar a posição dos cabos, sua fixação e a estanqueidade das bainhas.
- Controlar a resistência do concreto endurecido antes de tensionar os cabos, já que em geral é nesta situação que são geradas as maiores solicitações.

Precisamente a Foto 1.5.3 mostra a falha da viga pré-fabricada em conseqüência de haver realizado o tracionamento sem que o concreto tenha resistência suficiente; na Foto 1.5.4 vê-se um detalhe do esmagamento da zona inferior, onde se alojam as bainhas com os cabos, e as solicitações de compressão são máximas.

Foto 1.5.3 Falha em viga pré-fabricada protendida

Foto 1.5.4 Detalhe de zona de esmagamento

Na Foto 1.5.5 mostra-se a ruptura de uma viga em conseqüência da falha em uma junta de concretagem e na Foto 1.5.6 os trabalhos prévios ao reparo.

Foto 1.5.5. Falha de junta de concretagem em uma viga

Foto 1.5.6. Procedimento de reparo da mesma viga

1.6 FALHAS CONSTRUTIVAS TÍPICAS

O processo de projeto e construção de uma estrutura de concreto compreende uma série de instâncias que em geral podem ser resumidas como a seguir:

- Projeto geral e anteprojeto.
- Cálculo, documentação e especificacões técnicas.
- Locação e nivelamento.
- Fornecimento de materiais.
- Construção de fôrmas e colocação de escoramento.
- Corte, dobra e colocação de armaduras.
- Produção e transporte do concreto.
- Lançamento e cura do concreto.
- Remoção de fôrmas e escoras.

Qualquer das etapas descritas pode vir a ser a origem de falhas ou deficiências que podem afetar o comportamento da estrutura.

Analisaremos algumas das que costumam ocorrer com maior freqüência.

1.6.1 Deficiências no detalhamento e/ou posicionamento da armadura.

As barras de aço que por erro de projeto ou construção resultam inadequadas em sua configuração ou posição final acabam afetando a durabilidade ou a capacidade portante da estrutura.

Em princípio, nos elementos típicos solicitados a flexão, vigas e lajes, as barras da armadura são colocadas para absorver os esforços de tração. A Figura 1.6.2 mostra como um posicionamento inadequado pode dar origem à diminuição do braço elástico interno e em conseqüência a seção contará com menor capacidade portante e com certeza aparecerão fissuras.

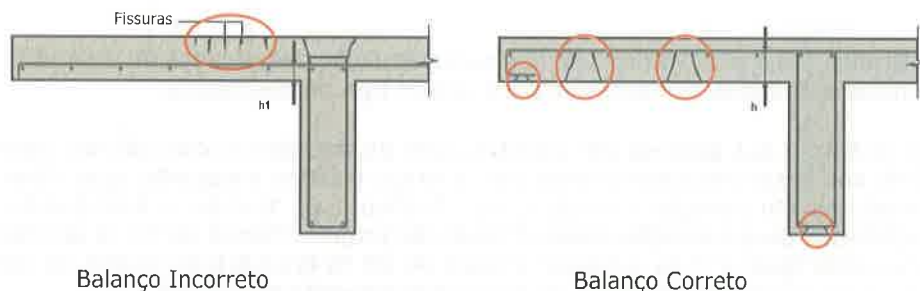



Figura 1.6.1 Fissuras em elementos solicitados a flexão

Nas fotos seguintes, Foto 1.6.1 e Foto 1.6.2, pode-se observar o colapso parcial de estruturas em balanço e as fissuras paralelas à viga de apoio, Foto 1.6.3, em conseqüência de as armaduras terem sido colocadas por baixo da posição correta.

Foto 1.6.1 Colapso parcial da estrutura

Foto 1.6.2 Detalhe do balanço

Foto 1.6.3 Detalhe de fissuras paralelas à viga de apoio

O Gráfico 1.6.1 e o Gráfico 1.6. ilustram a situação das sacadas de uma série de edifícios estudados por apresentarem algum tipo de deficiência.

No Gráfico 1.6.1 pode-se ver a distribuição de freqüências das alturas, apenas 20 % dos casos estudados conta com o braço elástico adequado, quer dizer as armaduras em posição correta, e no Gráfico 1.6., tem-se a distribuição de freqüências para a relação Madm / Madm de projeto. Menos de 10 % apresenta uma razão igual a 1 ou superior, e mais de 20 % encontra-se abaixo da razão 0,6, isto é, aproximadamente no limite convencional de ruptura.

A Figura 1.6.2 e a Figura 1.6.5 ilustram outro tipo de falhas que surgem por um mau posicionamento das armaduras.

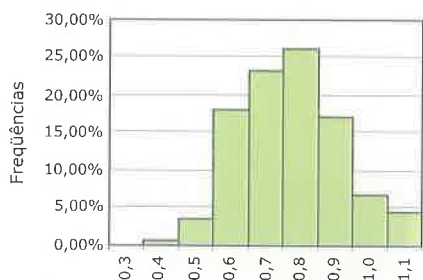



Gráfico 1.6.1 Distribuição de freqüências de alturas

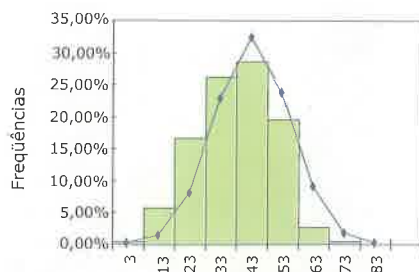



Gráfico 1.6. Distribuição de freqüências vs Madm/Madm de projeto

No Gráfico 1.6.1 pode-se ver a distribuição de freqüências das alturas, apenas 20 % dos casos estudados conta com o braço elástico adequado, quer dizer as armaduras em posição correta, e no Gráfico 1.6., tem-se a distribuição de freqüências para a relação Madm / Madm de projeto. Menos de 10 % apresenta uma razão igual a 1 ou superior, e mais de 20 % encontra-se abaixo da razão 0,6, isto é, aproximadamente no limite convencional de ruptura.

A Figura 1.6.2 e a Figura 1.6.5 ilustram outro tipo de falhas que surgem por um mau posicionamento das armaduras.

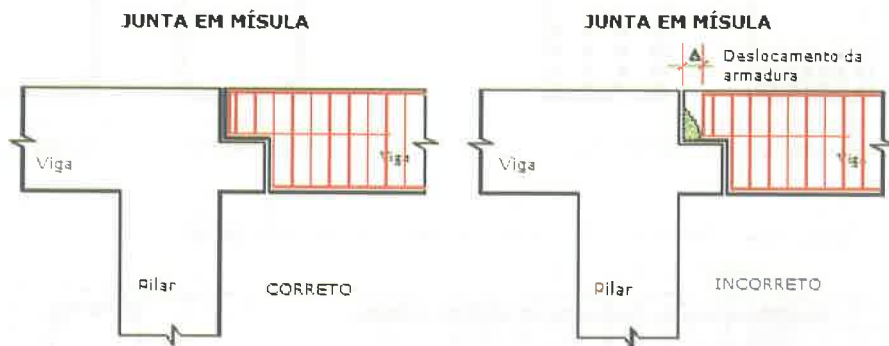



Figura 1.6.2 Falhas por mau posicionamento das armaduras

Uma deficiência comum é não manter a separação adequada entre as barras de modo que o concreto possa ser lançado e adensado adequadamente, sem que haja a formação de ninhos de concretagem. Deste modo, é afetada tanto a capacidade portante quanto a durabilidade (Figura 1.6.5). Uma situação particularmente notável deste problema é a constituída pelas regiões de emendas das armaduras.

Foto 1.6.4 Falhas por mau posicionamento das armaduras

Foto 1.6.5 Falhas por separação inadequada das armaduras

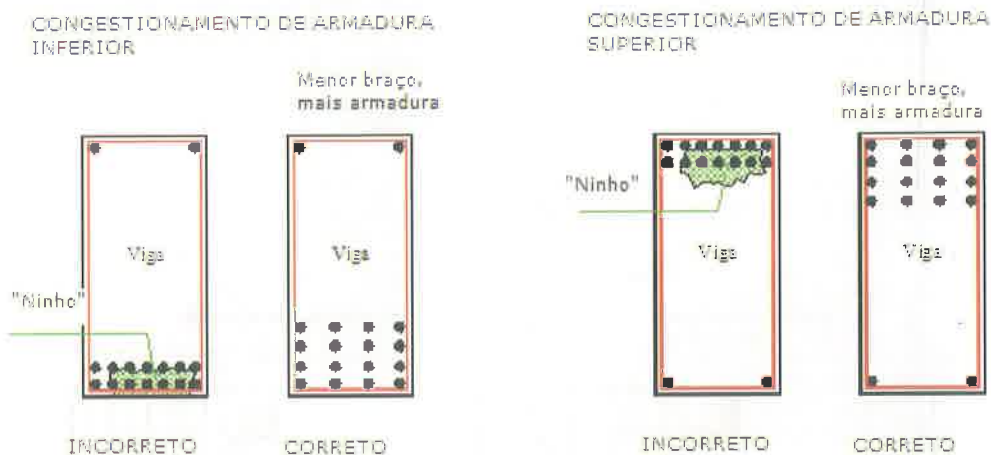



Figura 1.6.3 Falhas por congestionamento de armaduras

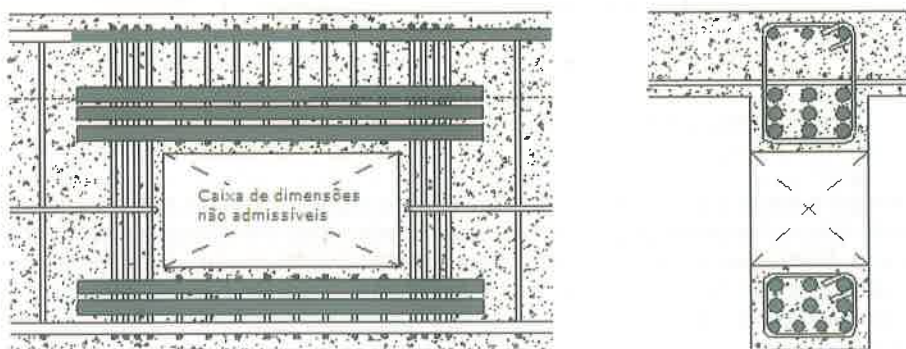



Figura 1.6.4 Falhas por congestionamento de armaduras

Quando as dimensões das caixas ou alvéolos são importantes com relação ao elemento estrutural, ocorre um congestionamento de armaduras que dificulta o preenchimento adequado das fôrmas.

É preciso recordar que as barras devem contar, além disso, com um cobrimento adequado de acordo com o tipo de ambiente e o elemento estrutural de que se trate.

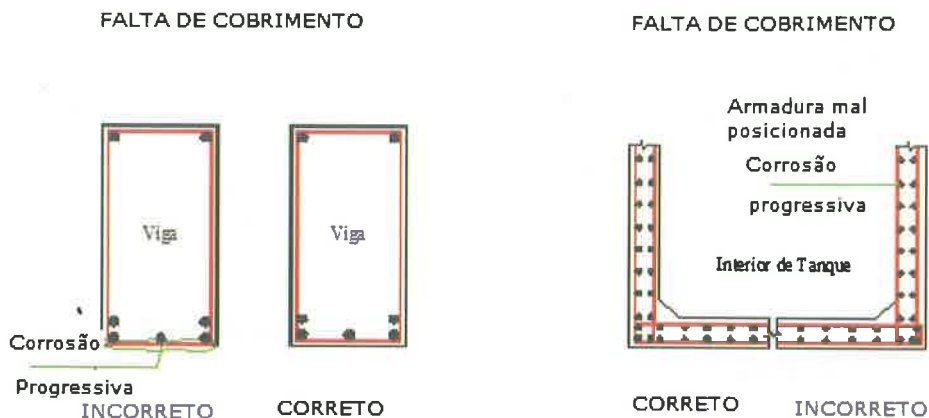



Figura 1.6.5 Falhas por cobrimento inadequado

As figuras seguintes mostram casos típicos de armaduras passivas com falhas de projeto (Figura 1.6.6) ou armaduras ativas mal posicionadas (Figura 1.6.7).

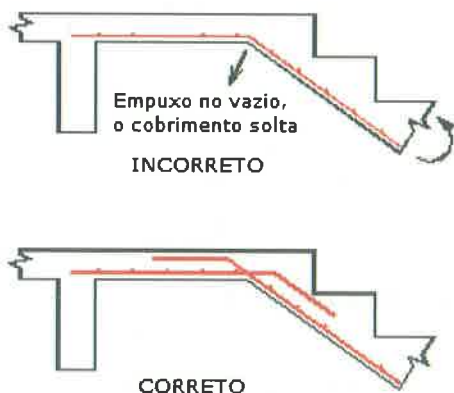
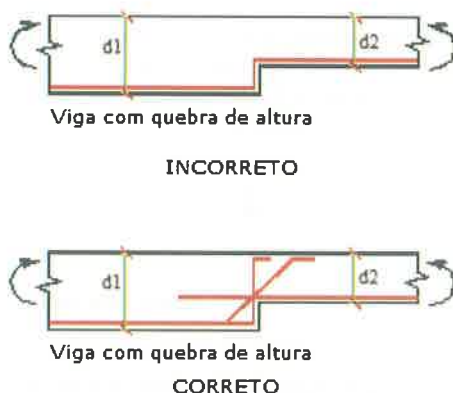



Figura 1.6.6 Armaduras passivas con falhas de projeto

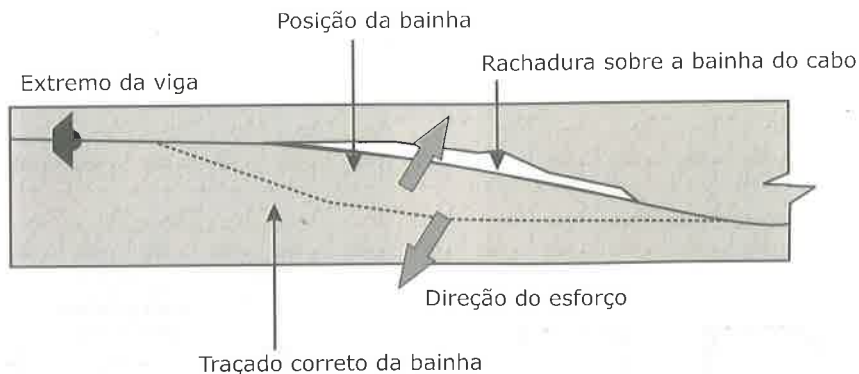



Figura 1.6.7 Armaduras ativas mal posicionadas

1.6.2 Deficiências na construção ou remoção do sistema de fôrmas

Deslocamentos de fôrmas inadequadamente apoiadas, ou sobre terrenos de baixa capacidade portante ou muito deformáveis, geram deformações e/ou fissuração da estrutura.

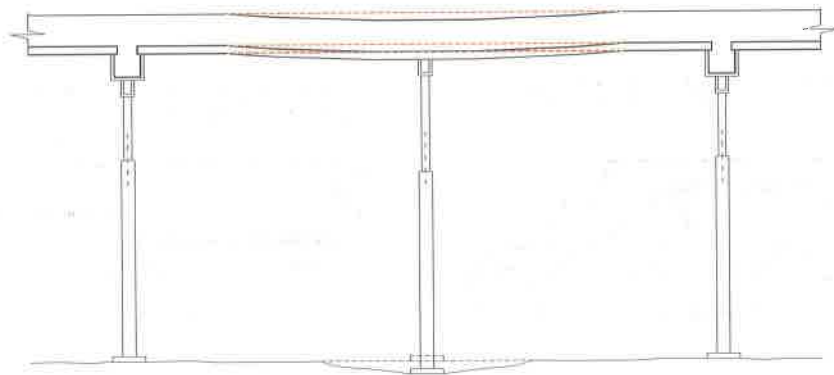



Figura 1.6.8 Falhas por deslocamentos das fôrmas

A separação excessiva dos escoramentos em elementos flexionados ou das gravatas nas fôrmas de pilares dá origem a elementos estruturais com deformações iniciais.

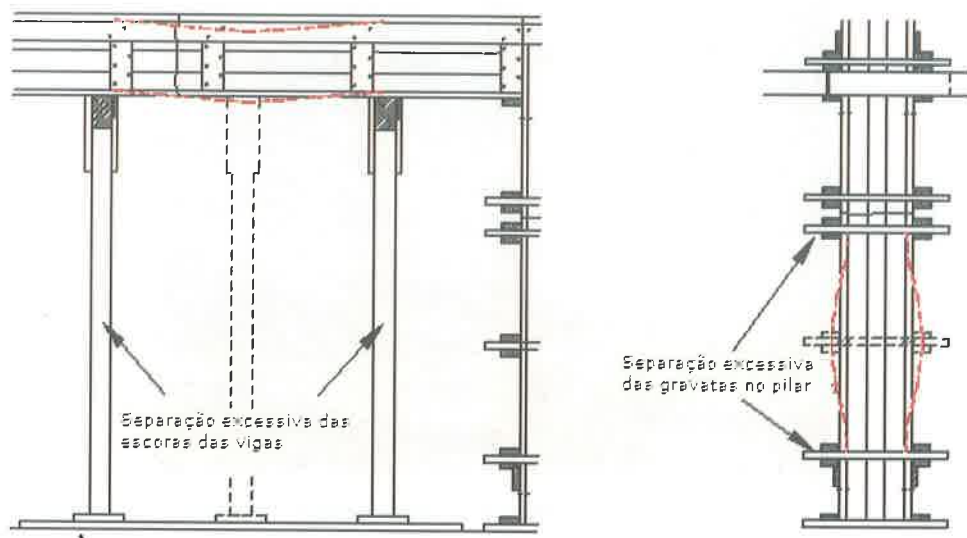



Figura 1.6.9 Falhas por projeto inadequado de sistema de fôrmas

A remoção das escoras quando o concreto ainda não atingiu resistência suficiente pode dar origem a sobretensões, fissuração e até o colapso da estrutura. Este problema, ilustrado na, torna-se grave nas situações em que se mantêm as escoras em várias pranchas de desenho, sem realizar reescoramentos, ou quando são colocadas cargas importantes sobre as lajes de mezaninos em construção.

1.7 AÇÃO SÍSMICA

Origem da ação

Os sismos ou terremotos são vibrações da crosta terrestre geradas por fenômenos diversos. Para a engenharia estrutural, os mais importantes são os de origem tectônica, provocados por deslocamentos abruptos das grandes placas da crosta terrestre.

A energia liberada em um terremoto propaga-se principalmente na forma de ondas vibratórias através das rochas da crosta, e chega à fundação das construções após atravessar os estratos superficiais do solo.

Estas ondas vibratórias constituem a ação direta do terremoto sobre as construções.

Outro tipo de ações, na Foto 1.7.1, denominadas indiretas, têm origem no comportamento do solo de fundação e dependem do tipo e da geometria do depósito que o conforma, a saber, os deslizamentos, os recalques, as avalanches e a liquefação do solo.

Foto 1.7.1 Efeito local indireto: recalque

As vibrações devidas aos terremotos transmitem-se à construção através da fundação. A intensidade da vibração induzida em uma construção depende tanto das características do movimento do terreno como das propriedades dinâmicas da sua estrutura (amortecimento próprio da edificação e relação entre os períodos próprios da estrutura e o período dominante do solo).

Estas propriedades variam com o aumento da intensidade da excitação aplicada; tanto o amortecimento quanto os períodos próprios tendem a aumentar.

Vulnerabilidade estrutural

As vibrações induzidas em uma construção pela ação sísmica geram forças de inércia correspondentes a suas massas. Essas forças têm direção predominantemente horizontal quando as massas descansam em elementos estruturais horizontais de vãos moderados; por outro lado, a direção dominante é vertical quando os vãos desses elementos são importantes ou no caso de balanços.

As forças de inércia transmitem-se à fundação através da estrutura, seguindo trajetórias que dependem de sua configuração. Em seu trajeto podem provocar os seguintes efeitos:

Gerar deformações e esforços que provoquem danos em elementos não estruturais: instalações, elementos de vedação e de divisão.

Comprometer a estabilidade da totalidade ou de partes de uma construção consideradas como corpo rígido (deslizamento, desmoronamento)

Fazer com que em algum dos elementos estruturais sejam excedidos os estados limites de fissuração, de estabilidade elástica (efeitos de segunda ordem), de resistência e/ou de dutilidade.

Influência de elementos não estruturais

As alvenarias envolvidas pelos pórticos, representadas na Figura 1.7.1, não são geralmente consideradas nos modelos de cálculo, entretanto têm influência considerável no comportamento das estruturas durante um sismo, dado que aumentam sua rigidez e induzem maiores forças sísmicas.

Nas superfícies de contato da estrutura com as paredes desenvolvem-se forças de interação que, por uma lado melhoram o comportamento da estrutura durante o sismo, porém freqüentemente causam sérios danos, inclusive o colapso de pilares, tornando mais vulnerável o sistema estrutural.

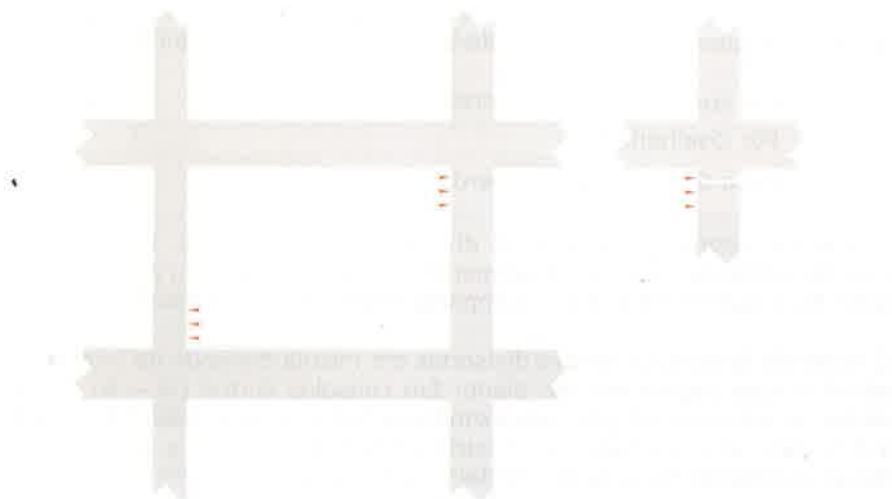



Figura 1.7.1 Forças de interação em alvenarias envolvidas pela estrutura.

Também são danosas as forças devidas ao impacto de uma construção com outras adjacentes, separadas por juntas de abertura insuficiente.

Tipos de danos em elementos de estruturas de concreto armado

Em geral, as construções que tiveram um projeto estrutural adequado e execução cuidadosa, mesmo sob sismos severos, sofrem danos leves. Estes manifestam-se como trincas verticais e inclinadas nos pilares e nas vigas, Figura 1.7.2.

As fissuras verticais nas vigas são causadas pelo momento fletor e ocorrem na proximidade das ligações, por exemplo no encontro com pilares e nos centros dos tramos.

As fissuras inclinadas são produzidas por esforços de cisalhamento.

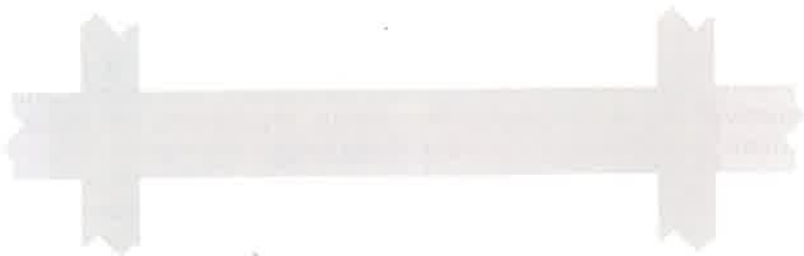



Figura 1.7.2 Fissuras de flexão (a), (b) e cisalhamento (c)

Os danos podem ser agrupados de acordo com a causa da falha em:

- Por compressão do concreto
- Por cisalhamento
- Falta de armadura ou perda de ancoragem.

Tais danos ocorrem em paredes divisórias, pilares, vigas, lajes e em ligações quando o concreto está excessivamente solicitado, caso 1) ou 2), ou mal reforçado, caso 3), o que dá lugar a um comportamento estrutural insuficientemente dútil.

O modo de falha das paredes divisórias em mísula depende da relação entre sua altura e suas dimensões em plano. Em consolos curtos (H < B), predomina o efeito do esforço cortante, produzindo-se fissuras diagonais (fissuras-X) Figura 1.7.3. (a); se o consolo não é curto (H>B), predomina o efeito do momento fletor, ocorrendo fissuras horizontais, Figura 1.7.3 (b).

Figura 1.7.3 Modos de falha de paredes divisórias em mísula

Nas vigas e pilares com forças longitudinais relativamente pequenas, prevalece a influência da flexão, Figura 1.7.4.

Figura 1.7.4 Evolução da falha por flexão em um extremo de pilar

Os pilares espessos, como as vigas curtas (Figura 1.7.5), são vulneráveis às falhas típicas originadas pelos esforços de cisalhamento.

Figura 1.7.5 Falha de cisalhamento em pilar espesso (esq.) e Falha por cisalhamento em viga curta (dir.)

Foto 1.7.2 Falha em encontro de viga e pilar

Devido aos complexos estados de tensão nas ligações, podem ocorrer diferentes modos de falha, (Foto 1.7.2).

O enfraquecimento da união aço-concreto representa uma falha frágil e sua conseqüência é similar a uma deformação excessiva da armadura.

Os danos expostos podem ser devidos a defeitos de projeto ou também a falhas de construção. Os erros na concepção estrutural são especialmente perigosos, porém uma má execução de detalhes também pode causar graves danos.

As causas mais comuns de danos e colapsos de construções aporticadas são:

Erro na concepção da estrutura ou de sua fundação

Um pórtico pouco rígido com grandes deformações (deslocamentos horizontais) causa danos severos em paredes divisórias.

As sacadas, os beirais e as escadas em mísula são elementos particularmente vulneráveis.

Detalhes inadequados, especialmente de armação e nas uniões das barras

Casos típicos são as juntas mal dimensionadas que causam a colisão entre as partes da construção e a pobreza de execução de detalhes de armação na zona das ligações entre elementos.

Qualidade ruim do trabalho realizado e do concreto utilizado

Podem ser causas de danos graves a mudança na posição das armaduras com relação ao projeto original, maus cortes construtivos, corte de estribos em pilares durante a concretagem, etc.

São raros os danos causados pela qualidade dos materiais utilizados (qualidade ruim do concreto, segregação, etc.).

Sobrecarregamento da estrutura com cargas móveis

Aumentam as solicitações devidas à força centrífuga e às forças de inércia (por aumento de massa) provocadas pelo terremoto.

CAPÍTULO 02

Orientação para o Diagnóstico

CAPÍTULO 02

Orientação para o Diagnóstico

Autores
Enio Pazini Figueiredo
Vitervo O´Reilly

Fernanda Wanderley
Giana Sousa Sena Rodrigues
Leonel Tula

Introdução

O Comitê 201 do ACI (*American Concrete Institute*) define a durabilidade do concreto hidráulico (de cimento Portland) como a capacidade deste de resistir à ação do intemperismo, ao ataque químico, à abrasão ou a qualquer outro processo de deterioração.
Segundo COLLEPARDI (1999), a durabilidade de uma estrutura de concreto armado está relacionada com a capacidade desta estrutura em manter suas caraterísticas estruturais e funcionais originais durante sua vida útil esperada, nas condições de exposição para as quais foi projetada. Portanto, a durabilidade da estrutura não coincide com a durabilidade do concreto, considerada neste caso como a capacidade do próprio material de conservar as propriedades originais por certo período de tempo. Diante disto, pode-se constatar que a durabilidade do sistema não depende apenas da durabilidade do concreto, mas também de outros aspectos.

A durabilidade das estruturas de concreto armado é um assunto que tem sido amplamente estudado e discutido no meio técnico e científico, principalmente nas últimas décadas. Neste aspecto, o limite do conhecimento avançou de forma bastante significativa, não apenas em relação aos materiais que compõem o concreto armado, mas também no que se refere ao comportamento conjunto do sistema aço-concreto.

Sabe-se que as estruturas antigas, que utilizavam elevadas quantidades de cimento por m^3, materiais pozolânicos na composição do concreto e elevadas espessuras de cobrimento (quando armadas), resistem ao tempo até hoje. Pode-se tomar como exemplo um depósito em concreto armado, construído na Inglaterra no ano de 1900, que ainda se encontrava em boas condições de uso quando foi avaliado em 1979, apresentando poucas evidências de fissuras ou desplacamentos associados a corrosão de armaduras (B.R.E. DIGEST, 1982). Os Romanos, embora não utilizassem

o cimento Portland ou armaduras, realizaram obras de concreto que se eternizaram, alcançando séculos de existência, como por exemplo o Panteão em Roma, concebido em 27 a.C. (KATTAR & ALMEIDA, 1998). Além destas, muitas outras obras são ainda hoje admiradas pela beleza arquitetônica e acabam se transformando em marcos e referências de povos e culturas. Entretanto, embora não se possa negar que o conhecimento científico atual é bem mais amplo, é impressionante a negligência humana na utilização do conhecimento disponível e consolidado. Além disso, o meio ambiente hoje em dia é bem mais agressivo que o de décadas atrás, principalmente nos grandes centros urbanos. O aperfeiçoamento de técnicas de dimensionamento, mais avançadas e portanto mais econômicas, também interfere negativamente no que diz respeito à durabilidade.

Somando estes e outros fatores, pode-se chegar à conclusão de que as estruturas de concreto armado contemporâneas estão cada vez mais vulneráveis ao aparecimento precoce de manifestações patológicas.

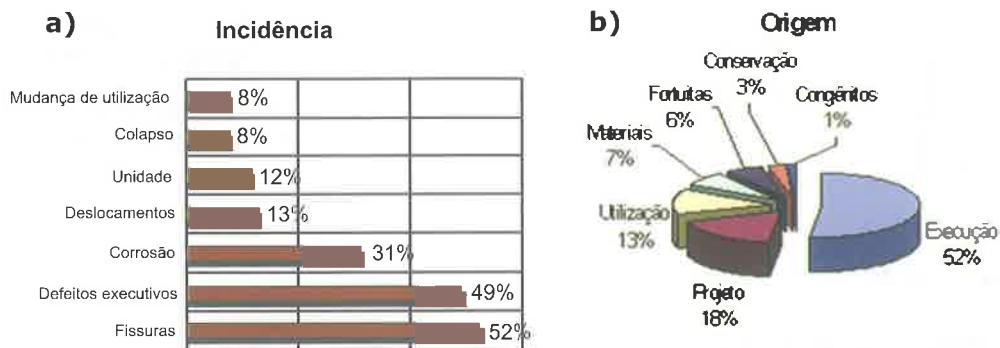



Figura 1.1.1 Principais manifestações patológicas em estruturas de concreto armado no Brasil (a) e sua origem (b) (CARMONA & MAREGA, 1988)

Neste sentido, um amplo levantamento no Brasil foi realizado por CARMONA & MAREGA (1988), que identificaram a incidência dos principais problemas patológicos das estruturas de concreto quanto à sua origem. Os resultados deste estudo são mostrados no gráfico da Figura 1.1.1.

Ficou evidenciado que, para a realidade brasileira, deveria ser dada atenção para o controle da execução de obras de concreto, ou seja, para a qualidade da mão de obra, resultado diferente do constatado, de dados coletados por estes mesmos pesquisadores, na Europa, onde se verificou a necessidade de controle rígido na etapa de projeto.

Em relação aos tipos de manifestações patológicas mais freqüentes, o mesmo estudo apontou a corrosão das armaduras como uma das causas de deterioração mais comuns nas estruturas de concreto, ficando em terceiro lugar com 31 % dos casos levantados, permanecendo atrás apenas dos defeitos construtivos e fissuras, nesta ordem. Porém, cabe ressaltar que as fissuras podem originar-se de tensões internas provocadas pela corrosão de armaduras, e que os defeitos construtivos, ou mesmo as fissuras, podem provocar o surgimento de diversos tipos de manifestações patológicas, entre elas a própria corrosão das armaduras.

Apesar de que se procure cada vez mais projetar e construir estruturas mais duráveis, é de muita importância avaliar sua utilidade ou funcionalidade a longo prazo. PAULON

(1999) relaciona o conceito de durabilidade com o tempo de uso e obsolescência de uma obra, fazendo distinção entre a obra perene e a obra durável. A primeira é considerada indestrutível, porém não necessariamente útil.
Por outro lado, a obra durável permanece útil apenas durante o tempo desejado. Portanto, voltando à definição de durabilidade, o importante na realidade não é que uma estrutura seja eterna, mas que conserve suas características originais durante o período esperado, ou seja, durante seu período de utilização. Muitas vezes, não é necessário que uma estrutura dure mais que 50 ou 100 anos, pois boa parte das antigas estruturas, segundo COLLEPARDI (1999), tornaram-se obsoletas em menos de um século ou, em alguns casos, em poucas décadas.

LANGLEY (1998) diz que a alta durabilidade não é uma propriedade intrínseca do concreto, mas pode ser alcançada através do cumprimento de alguns requisitos, como a correta seleção dos materiais, dosagem, produção e lançamento apropriados, cura adequada e, por fim, por uma proteção superficial satisfatória.

No campo da normalização, estão disponíveis em diferentes países vários documentos que tratam de assuntos referentes à durabilidade do concreto. Na Europa, as recomendações podem ser encontradas no *Eurocode 2*, na *European Prestandard ENV 206, Concrete Performance, Production, Placing and Compliance Criteria,* de 1992, assim como no *CEB-FIP Model Code 90*. Os norte-americanos baseiam-se no *ACI Committee 201, Guide to Durable Concrete,* de 1992, e no Japão a durabilidade do concreto é tratada na *Proposed Specification of Durability for Concrete Structures, Concate Library of JSCE, n.º 27,* de 1996 (ANDRADE,1998; COLLEPARDI, 1999; HELENE, 1997).

No Brasil, a antiga norma NBR 6118/1978 Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado não tratava com muita ênfase os assuntos relacionados com a durabilidade. Já a nova norma NBR 6118/2003 incluiu vários tópicos relacionados à durabilidade das estruturas de concreto, exigindo que as estruturas sejam projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na etapa de projeto, e quando utilizadas conforme previsto no projeto, conservem a segurança, estabilidade e capacidade de serviço por um período mínimo de 50 anos, sem exigir medidas adicionais de manutenção e reparo.

Portanto, como a obtenção de uma vida útil satisfatória está relacionada com a integração das fases que vão desde o planejamento até a utilização e manutenção da edificação, é coerente que as responsabilidades sejam divididas para todos os envolvidos em alguma destas fases, cabendo-lhes responder por qualquer falha ou problema que venha a ocorrer.

Também fazem parte do novo texto da norma NBR 6118 os mecanismos mais significativos de envelhecimento e deterioração das estruturas de concreto, tais como a lixiviação, expansão causada por sulfatos e a reação álcali-agregado, que estão relacionados com o concreto em si, a despassivação da armadura por carbonatação e pelo elevado teor de cloretos, que por sua vez se referem à armadura, além dos mecanismos de deterioração relativos à estrutura propriamente dita.

Seguindo este caminho, serão discutidos a seguir alguns dos principais mecanismos de deterioração das estruturas de concreto.

2.1 VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

A vida útil de uma estrutura, segundo o código modelo do CEB (Comité Euro-international du Béton) de 1989, é o tempo durante o qual a estrutura mantém um limite mínimo de serviço para o qual foi projetada, sem elevados custos de manutenção e reparo.

Uma representação esquemática, baseada no Bulletin 182 do CEB (1989), é mostrada na Figura 2.1.1, a qual relaciona o uso com a vida útil da estrutura.

TUUTTI (1982) propôs um modelo de vida útil para as estruturas de concreto do ponto de vista da corrosão das armaduras, dividindo o mecanismo em duas etapas, a de iniciação e a de propagação. Este modelo, simples, porém clássico, é representado na Figura 2.1.2.

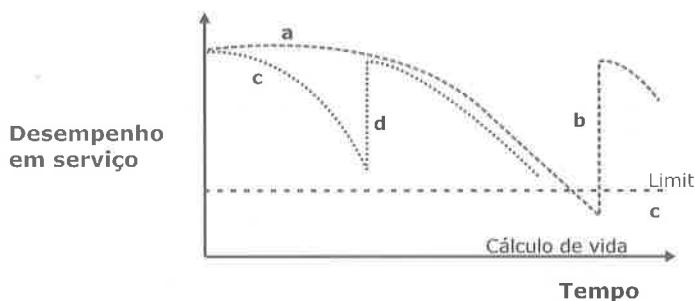
A fase de iniciação corresponde ao tempo que os agentes agressivos (cloretos ou CO_2) demoram para atravessar o cobrimento e chegar à armadura, despassivando-a, enquanto que a fase de propagação é o período que compreende uma acumulação progressiva da deterioração até que seja alcançado um nível inaceitável da mesma (ANDRADE, 1992).

a – Não deteriorada, porém com desgaste natural.
b - Reparo depois de ultrapassar o limite crítico de aceitação.
c – Deterioração.
d - Necessidade de reparar antes de ultrapassar o limite crítico de aceitação.

Figura 2.1.1 Vida útil de serviço (CEB, 1989)

HELENE (1993) vai além e distingue três situações durante o período de vida útil de uma determinada estrutura, que são:

1. O período de iniciação, também chamado de *vida útil de projeto*;
2. O período onde aparecem os primeiros sinais ou sintomas da corrosão, chamado de *vida útil de serviço ou de utilização*;
3. O período de tempo que vai até o colapso da estrutura, chamado de *vida útil total.*

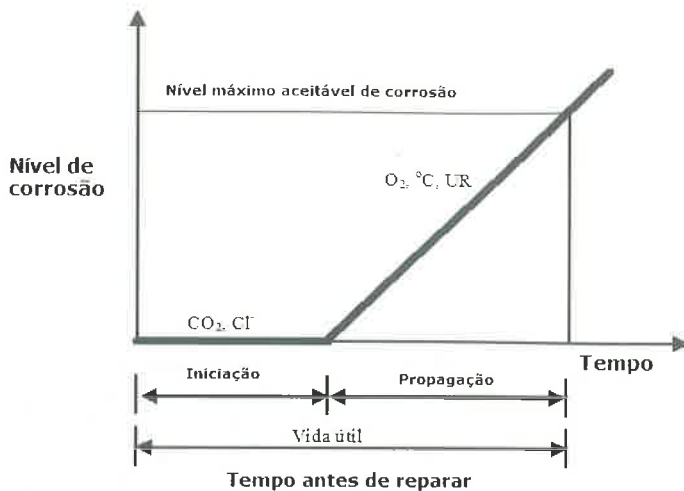



Figura 2.1.2 Modelo de vida útil de TUUTTI (1982).

Neste sentido, o autor propõe um modelo gráfico englobando estes três conceitos de vida útil, partindo da proposta inicial de TUUTTI (1982) e incorporando o conceito de *vida útil residual*, correspondente ao período de tempo, a partir da visita técnica (inspeção inicial), que a estrutura ainda terá capacidade de desempenhar suas funções. Estes conceitos baseiam-se no fenômeno da corrosão das armaduras, e são apresentados graficamente na Figura 2.1.3.

Figura 2.1.3 Conceituação da vida útil das estruturas de concreto, tomando por referência o fenômeno da corrosão das armaduras (HELENE, 1993).

Sabendo-se que as estruturas de concreto não são eternas, e portanto possuem vida limitada, pergunta-se Por que não fazer uma previsão desta vida útil durante a etapa de projeto?

ANDRADE (1992) diz que a vida útil é limitada e deverá ser prevista no projeto. A norma ASTM E632/82 descreve uma metodologia para definir a vida útil, e a comissão conjunta CIB-RILEM (W80 CIB/GT – 71 PSL RILEM) aborda aspectos da vida útil de uma estrutura e de todos os elementos construtivos de uma obra. A autora cita que o Instituto Eduardo Torroja na Espanha possui um levantamento dos períodos de propagação da corrosão das armaduras e que neste mesmo Instituto existe um extenso banco de dados sobre velocidades reais de corrosão, através do qual é possível prever o tempo que a peça estrutural levará para fissurar, pelo redimensionamento de seções de elementos estruturais em processo de corrosão. Para alguns pesquisadores, torna-se difícil definir o «limite inaceitável»para o fim da vida útil de uma estrutura, tendo em conta que existe muita controvérsia em torno do período de propagação, em virtude de que alguns afirmem que durante esta etapa já ocorre uma considerável perda da integridade estrutural. HELENE (1997), por exemplo, não considera o período de tempo «posterior à despassivação até a fissuração» como vida útil, pois segundo ele, em países com condições climáticas com as do Brasil, isto representaria um grande risco.

Uma análise do estado limite da corrosão das armaduras foi realizado por SIEMES & VROUWENVELDER (1985), com a intenção de otimizar projetos para a durabilidade, levando em conta aspectos técnicos e econômicos, onde foram aplicados estudos estatísticos. Os resultados desta análise levaram os autores a concluir que o modelo estatístico foi adequado para resolver o problema da durabilidade.

PAGE (1982) alerta para a dificuldade de prever a vida útil de uma estrutura com base em ensaios acelerados e propriedades eletroquímicas de componentes metálicos. Uma das razões para esta dificuldade, segundo esse pesquisador, são as diversas formas em que a corrosão pode manifestar-se. Ele conclui dizendo que o conhecimento da época não permite uma adequada previsão da vida útil.

A quantidade de variáveis que envolvem a problemática da durabilidade é apontada por LUCCHINI (1990) como o principal obstáculo para a avaliação da vida útil das estruturas de concreto. O pesquisador introduz um modelo que identifica as variáveis mais significativas e um outro para um processo de previsão da vida útil de componentes construtivos. Os modelos consideram o tipo de material, sua função e o ambiente em que o mesmo está inserido, além de conter uma lista dos principais agentes, suas intensidades, e outros aspectos que, interativamente, são capazes de auxiliar na previsão da vida útil, seja em estudos analíticos, seja em programas experimentais.

Além dos agentes do meio ambiente, SENTLER (1987) considera a influência da instalação das cargas na previsão da vida útil, além de uma combinação de ambos. O autor comenta que a vida útil de uma estrutura de concreto irá depender de como os problemas de durabilidade são considerados no projeto e como os critérios de desempenho são cumpridos durante a fase de execução. Não obstante, o autor sugere que os efeitos sinérgicos entre as cargas e os agentes do meio sejam considerados mais detalhadamente, sendo fundamental um maior conhecimento a respeito das propriedades dos materiais e ações a serem estudadas. Ressalta que, para uma avaliação precisa da vida útil, seria necessário ainda que as boas práticas executivas fossem rigorosamente cumpridas.

MORINAGA (1990) pesquisou um método de previsão de vida útil considerando os dois principais mecanismos de despassivação da armadura, ou seja, a carbonatação e a ação dos cloretos. Nesse estudo, o autor estabeleceu relações bastante estreitas entre o nível de corrosão das armaduras e a vida útil do concreto. Foi possível realizar uma previsão dentro de várias condições e avaliar quantitativamente os fatores que possuem maior influência, combinando os limites permissíveis e as taxas de corrosão.

Outros pesquisadores vêm estudando o tema vida útil das estruturas, tentando prevê-la através de modelos e da realização de pesquisas, quase sempre baseadas no fenômeno da corrosão das armaduras, SOMERVILLE (1992) entre outros.

Mais recentemente, NMAI (2000) apresentou uma revisão das tecnologias existentes e em desenvolvimento para a proteção das estruturas de concreto contra a corrosão das armaduras. Mostrou também, em seu artigo, um novo modelo para a previsão da vida útil que engloba algumas das várias tecnologias que permitem projetistas e proprietários tomar decisões racionais a respeito dos sistemas de proteção contra a corrosão das armaduras do concreto. O modelo apresentado, chamado de «Life-365», é baseado em uma solução de diferenças finitas para a segunda Lei de Fick de difusão. A versão 1.0 deste modelo representa a primeira etapa de uma ampla pesquisa que objetiva compreender melhor a vida útil e apresentar um modelo de análise de custos para a corrosão induzida por cloretos.

No Brasil, HELENE (1997), depois de definir conceitos, mecanismos de envelhecimento, classificar o meio ambiente quanto ao grau de agressividade e agrupar os concretos em classes, relata que os atuais e clássicos conceitos e métodos de introdução da segurança no projeto das estruturas de concreto não garantem a durabilidade nem são ferramentas adequadas para o cálculo e previsão da vida útil. Para satisfazer os requisitos mínimos de durabilidade e estética, faz-se necessário, segundo esse autor, estabelecer novos critérios de dimensionamento elaborados a partir do conhecimento dos fenômenos e mecanismos de deterioração, assim como de suas conseqüências. Neste sentido, são citados e descritos os quatro métodos de previsão da vida útil para estruturas de concreto, a seguir relacionados:

a) Com base em experiência anterior;
b) Com base em ensaios acelerados;
c) Através de métodos deterministas,
d) Por métodos estocásticos ou probabilísticos.

Seguindo esta filosofia, HELENE buscou contribuir com estas e outras idéias na nova norma brasileira NBR 6118/2003 de Projeto de Estruturas de Concreto, atualmente em vigor.

GUIMARÃES (2000) avaliou a durabilidade de uma estrutura marítima de concreto armado, comparando seu comportamento com os modelos de previsão de vida útil e com as normas existentes. Com base nos resultados desta avaliação, formulou um novo modelo, o qual é indicado para estruturas localizadas em ambiente marítimo, porém é válido apenas para obras construídas com materiais e técnicas similares. O modelo foi desenvolvido através de ensaios tecnológicos

realizados «in loco» nos diferentes microclimas da estrutura escolhida para o estudo.

A questão da vida útil das estruturas de concreto é, portanto, um assunto complexo e que merece ser tratado com bastante cuidado. É preciso aplicar todo o conhecimento disponível a respeito do tema, no sentido de tornar possível uma avaliação coerente do comportamento das obras e dos custos envolvidos durante um determinado período de tempo, evitando assim gastos e intervenções desnecessários. No caso das estruturas que já se encontram em processo de deterioração, é necessário, segundo ANDRADE (1992), tanto calcular seu tempo de vida sem risco de colapso, como decidir o momento adequado para iniciar os procedimentos de reparo e recuperação.

2.2 Orientação para o diagnóstico

A seguir, apresenta-se um conjunto de quadros para facilitar o engenheiro em seus trabalhos de inspeção e diagnóstico de estruturas de concreto.

A indicação do diagnóstico está dada de modo que o engenheiro deverá procurar as informações a partir dos sintomas e/ou das manifestações patológicas típicas que ocorrem nas obras.

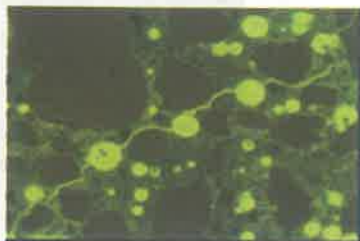
Deve ser lembrado que se trata apenas de um guia para solução dos problemas, uma vez que o diagnóstico conclusivo deverá ser obtido com ensaios e provas químicos, físicos, mecânicos e análise numérica, e sempre deverá ser elaborado por especialistas.

2.2.1 Ação de Gelo e Degelo[1]

Deterioração por ciclos de gelo e degelo

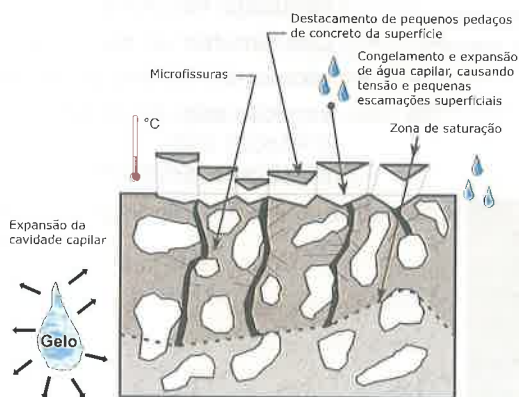
- Laje de cobertura
- Marquises
- Pavimentos rodoviários
- Tabuleiros de pontes
- Pilares, cortinas e muros parcialmente imersos

Diagnóstico:

- Água nos poros da pasta e de agregados de elevada absorção
- Diminuição da temperatura
- Congelamento da água
- Aumento de volume
- Tensões internas de tração
- Fissuras na pasta e em torno e através dos agregados
- Aumento da temperatura

Prognóstico:

- Aumento da porosidade
- Escamação e desagregação superficial

Alternativas para correção:

- Reparo superficial localizado
- Reparo superficial generalizado
- Reparo em junta de movimentação
- Proteção superficial com pintura hidrofugante

[1]N.T.: Esta situação não é muito comum no Brasil por causa de nosso clima predominantemente quente.

2.2.2 Ação da Variação Térmica

Manifestação:

Fissuras ou trincas por ação da variação térmica ambiental (sazonal e diária)

- Lajes
- Marquises
- Cortinas

Diagnóstico:

- Variação de temperatura
- Retração e dilatação volumétrica
- Geração de esforços de tração
- Formação de fissuras ativas

Prognóstico:

- Movimentação das fissuras
- Diminuição do caminho dos agentes agressivos até as armaduras ou partes mais internas do concreto
- Carbonatação, deterioração do concreto e corrosão das armaduras

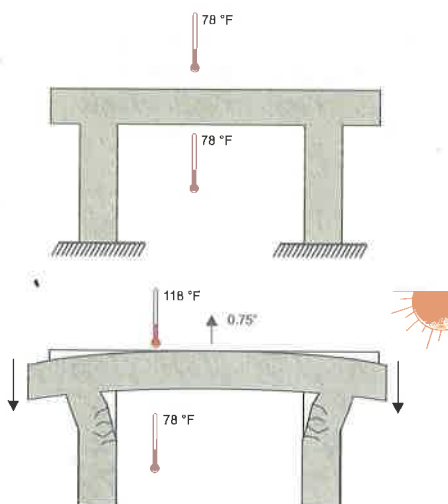
Alternativas para correção:

- Isolamento térmico do elemento fissurado
- Uso simultâneo de
  - técnica de injeção de fissuras
  - especificação de junta de dilatação com mástiques/selantes

2.2.3 Movimentação Térmica Ambiental

Manifestação:

Fissuração devida à movimentação térmica ambiental

- Pórticos (vigas, lajes e pilares).

Diagnóstico:

- Gradiente de temperatura interno e externo
- Dilatação do elemento que está exposto (coeficiente de dilatação térmica do concreto 9×10^{-6} m/m/°C)
- Fissuração dos elementos que não se dilatam com o aumento de temperatura

Prognóstico:

- Dilatação dos elementos sujeitos a
- aumento de temperatura
- Fissuração dos elementos que
- restringem o aumento da dilatação
- Carbonatação, deterioração do
- concreto
- Corrosão de armaduras;
- Colapso parcial ou total da estrutura

Alternativas para correção:

- Isolamento térmico do elemento sujeito à variação térmica
- Selamento de fissuras

2.2.4 Retração Hidráulica e Térmica

Manifestação:

Fissuração por retração hidráulica e térmica

- Vigas
- Lajes
- Pilares
- Cortinas

Diagnóstico:

- Alta relação água/cimento;
- Alto calor de hidratação;
- Excesso de vibração;
- Cura mal feita;
- Diminuição do volume do concreto;
- Surgimento de fissuras que atravessam o elemento.

Prognóstico:

- Aumento da porosidade
- Transporte de agentes agressivos
- Carbonatação
- Corrosão das armaduras
- Colapso da estrutura

Alternativas para correção:

- Analisar a atividade das fissuras e classificá-las em ativas opassivas;
- Eliminar cuidadosamente o concreto comprometido, limpando bem a superfície
- Efetuar proteção térmica conveniente;
- Técnicas de injeção
  - selantes
  - base epóxi
  - base cimento

2.2.5 Retração Hidráulica

Manifestação:

Fissuração por retração hidráulica

São fissuras que surgem durante as primeiras horas após a concretagem, em decorrência da perda de água por evaporação.

Esta diminuição de volume ocorre no concreto ainda no estado plástico, sem que haja terminado o proceso de hidratação do cimento.

Também costumam aparecer fissuras de retração durante o processo de endurecimento, se o elemento encontra-se confinado não pode ter livre retração, portanto as tensões são maiores que a resistencia a tração do concreto aparecendo fissuras que o seccionam.

* É preciso diferenciá-las das fissuras por dessecação superficial (item 2.26, a seguir), as quais não atravessam o elemento.

Diagnóstico:

- Secagem prematura do concreto por cura inadequada.
- Alta relação água/cimento
- Elemento com pouca quantidade de aço de retração.
- Elementos confinados.
- Excesso de cimento ou finos.
- Excesso de vibração.

Prognóstico:

- Corrosão de armaduras
- Possíveis futuras deformações.
- Diminuição da vida útil da viga e da estrutura.

Alternativas para correção:

- Analisar a atividade das fissuras e classificá-las em vivas ou mortas.
- Determinar o ambiente em que se encontra o elemento a reparar
- Técnica de injeção

2.2.6 Dessecação Superficial

Manifestação:

Fissuração por dessecação superficial

- Vigas
- Lajes
- Pilares
- Cortinas

Diagnóstico:

- Alta relação água/cimento;
- Excesso de vibração;
- Exsudação;
- Evaporação da água de amassamento;
- Absorção excessiva de água pelos agregados ou pelas fôrmas.
- Surgimento de fissuras nas primeiras horas.

Prognóstico:

- Fissuras superficiais e passivas;
- Não ocorrência de problemas estruturais;
- Em caso de pisos industriais, ocorrência de perda de cobrimento e conseqüente diminuição do caminho dos agentes agressivos às armaduras:
  - Aumento da porosidade;
  - Transporte de agentes agressivos;
  - Corrosão das armaduras
  - Colapso da estrutura.

Alternativas para correção:

- Eliminar cuidadosamente o concreto comprometido, limpando bem a superfície;
- Determinar o ambiente em que se encontra o elemento a ser reparado
- Efetuar proteção térmica conveniente;
- Técnicas de injeção
  - selantes
  - base epóxi
- Reparo superficial generalizado
  - argamassa polimérica base cimento;
  - argamassa base epóxi

2.2.7 Incêndios

Ação do fogo

Todas as estruturas de concreto:

Diagnóstico:

Temp. (°C)	Perda de água, reações químicas e danos	Cor do concreto	Resistência residual em % da resistência inicial	Módulo de deformação residual em % do módulo de deformação inicial
20	Evaporação da água capilar	Cinza	100	100
200			95	70
300	Perda da água de gel; aparecimento das primeiras fissuras superficiais; O $Ca(OH)_2$ transforma-se em CaO	Rosa		50
400			88	38
500	O concreto começa a desagregar-se		75	35
600		Vermelho	55	20
900	Concreto desagregado, sem nenhuma resistência	Cinza-avermelhado	10	0
1000		Amarelo-alaranjado	0	

Prognóstico:

- Fissuração superficial
- Deformação do concreto
- Lascamento do cobrimento
- Deformação do aço
- Ruptura dos elementos

Alternativas para correção:

- Escoramento emergencial
- *Reparo* com graute ou microconcreto fluido
- *Reparo* com argamassa tixotrópica, com aplicação manual
- *Reforço* com
  - adição de armadura e
  - concreto projetado
- *Reforço* com argamassa ou microconcreto projetado
- *Reforço* com graute ou microconcreto fluido
- *Reforço* com chapas metálicas ou perfis metálicos
- Recuperação do monolitismo com injeção de epóxi

2.2.8 Ação de Água Pura

Ataque por água pura

- Lajes
- Tanques
- Canaletas e canais
- Pisos

Diagnóstico:

- Água de chuva, água de degelo, água de condensação de vapores, águas industriais destiladas ou deionizadas
- Água corrente ou infiltrada sobre a superfície do concreto
- Dissolução ou hidrólise da cal livre hidratada
- Lixiviação do hidróxido de cálcio
- Dissolução dos silicatos, aluminatos e ferritos hidratados, que são estáveis em solução de $Ca(OH)_2$
- Diminuição da alcalinidade do concreto
- Aumento da porosidade do concreto
- Remoção da pasta e exposição dos agregados

Prognóstico:

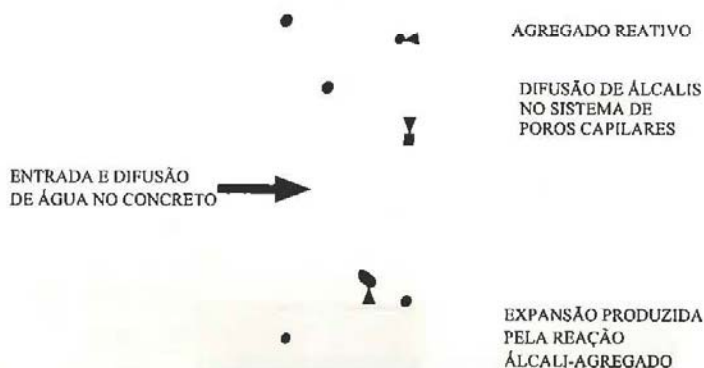
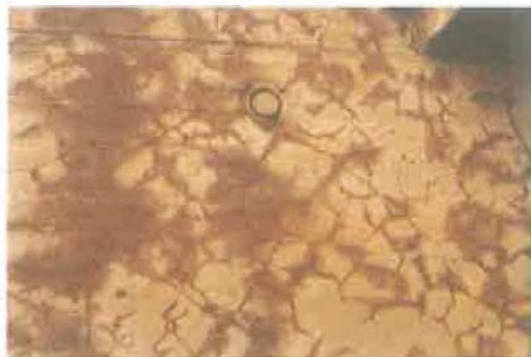
- Aumento da porosidade
- Diminuição da resistência
- Diminuição da alcalinidade do concreto e corrosão da armadura
- Exposição dos agregados na superfície do concreto

Alternativas para correção:

- Escarificação mecânica do concreto desagregado
- Reparo superficial localizado e/ou generalizado
- Reparo profundo localizado e/ou generalizado
- Proteção superficial do concreto

2.2.9 Reação Álcali-Agregado

Reação álcali-agregado

- Barragens de represas

Diagnóstico:

- Concentração de álcalis nos aglomerantes > 0,6
- Umidade relativa do ambiente > 75 % ou presença de fontes externas de umidade
- Agregado com sílica, silicato ou carbonato reativos
- Reação entre os álcalis do aglomerante com o agregado reativo
- Produção de gel de sílica
- Absorção da água por osmose pelo gel
- Expansão e geração de tensões internas
- Formação de microfissuras internas
- Aparecimento de fissuras superficiais na forma de rede

Prognóstico:

- Movimentação do gel de sílica do agregado para as regiões microfissuradas
- Aumento das microfissuras por acúmulo de gel
- Aparecimento de fissuras na superfície do concreto na forma de rede
- Aumento de volume dos elementos de concreto
- Perda de resistência devido à desagregação do concreto

Alternativas para correção:

- Controle da penetração da água no interior do concreto
- Uso de sais de lítio
- Confinamento da reação

Prevenção:

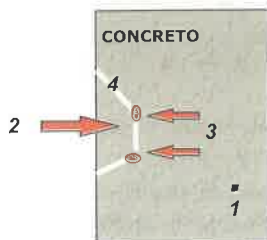
- Evitar o contato de fontes externas de umidade com o concreto
- Especificar aglomerante com teor de álcalis ≤ 0,6 %
- Especificar aglomerante com 50 % ou mais de escória granulada de alto forno
- Especificar aglomerante com 25 % ou mais de cinza volante
- Concentração de álcalis máxima no concreto de 3,0 kg/m³
- Avaliar a reatividade potencial dos agregados através de ensaios laboratoriais

2.2.10 Reação com Sulfatos

Ataque por sulfatos

- Qualquer estrutura de concreto exposta a águas residuais industriais ou solos sulfatados, água do mar ou chuvas ácidas por poluição urbana
- Fundações
- Galerias de efluentes de esgoto
- Estruturas de concreto «offshore»

Diagnóstico:

- Interação do sulfato com os hidróxidos de cálcio livre e com os aluminatos de cálcio hidratados (1 e 2)
- Formação de gipsita e etringita secundária(3)
- Aumento de volume dos sólidos provocando a expansão (3)
- Fissuração contínua e severa (4)

Exposição	Concentração de sulfatos	
	No solo (%)	Na água (ppm)
Leve	< 0,1	< 150
Moderada	0,1 a 0,2	150 a 1500
Severa	0,2 a 2,0	1500 a 10.000
Muito severa	> 2,0	> 10.000

Prognóstico:

- Fissuras aleatórias na superfície
- Exfoliação superficial
- Redução significativa da dureza e da resistência superficial
- Redução do pH do extrato aquoso dos poros superficiais
- Corrosão da armadura
- Perda de coesão da pasta de cimento
- Perda de aderência entre a pasta de cimento e as partículas de agregado
- Diminuição da resistência do concreto

Alternativas para correção:

- Remoção do concreto com teor de sulfatos >5 %
- Reparo superficial localizado e/ou generalizado
- Reparo profundo localizado e/ou generalizado
- Proteção superficial do concreto

Prevenção:

- Especificar cimento com baixo teor de C_3A
- Especificar consumo mínimo de cimento
- Especificar baixas relações a/c
- Especificar cimento pozolânico

2.2.11 Ação de Soluções Ácidas

Ataque por soluções ácidas

- Tanques
- Galerias de efluentes de esgoto
- Canaletas e canais
- Pisos

Diagnóstico:

- Fonte de soluções de ácidos orgânicos ou inorgânicos
- Dissolução da camada superficial carbonatada
- Formação de sais ($CaCl_2$, $AlCl_3$, $FeCl_3$) mais solúveis que $CaCO_3$
- Reação entre os ácidos e o hidróxido de cálcio
- Formação de sais de cálcio solúveis em água
- Lixiviação dos compostos de cálcio solúveis em água
- Remoção da pasta e exposição dos agregados
- Ataque aos agregados calcários e dolomíticos

Prognóstico:

- Exposição dos agregados pela lixiviação da pasta de cimento
- Aumento da porosidade do concreto
- Diminuição da resistência
- Desagregação dos agregados calcários ou dolomíticos
- Diminuição do pH do concreto e corrosão da armadura

Alternativas para correção:

- Escarificação mecânica para remoção do concreto desagregado
- Reparo superficial localizado e/ou generalizado
- Reparo profundo localizado e/ou generalizado
- Proteção superficial do concreto

2.2.12 Ação da Água do Mar

Deterioração por água do mar

- Estruturas de concreto expostas à água do mar

Diagnóstico:

- Impacto das ondas do mar
- Contato direto com a água do mar, com ciclos alternados de molhagem e secagem
- Ação de cloretos
- Ação de sulfatos

Prognóstico:

- Corrosão da armadura induzida por cloretos
- Impactos provocam erosão e abrasão superficial do concreto
- Expansão, fissuração e desagregação devido à ação dos sulfatos
- Lixiviação e corrosão da armadura devido à ação dos cloretos

Alternativas para correção:

- Restauração do monolitismo da peça
- Remoção do concreto desagregado e com teor de cloretos > 0,4 % em relação à massa de cimento
- Reparo superficial localizado
- Reparo superficial generalizado
- Reparo profundo localizado
- Aplicação de procedimentos eletroquímicos
- Proteção superficial do concreto

2.2.13 Ação de Solução Alcalina

Ataque por solução alcalina

- Pisos
- Canais e canaletas

Diagnóstico:

- Troca iônica entre o agente alcalino e os compostos do cimento formando sais mais solúveis ($C_3A + Na(OH)_2$ ® Aluminato de Sódio)
- Deterioração do concreto pela diminuição da resistência
- Lixiviação
- Expansão causada pela penetração da solução alcalina nos poros do concreto e cristalização dos subprodutos que se acumulam nos poros

Prognóstico:

- Lixiviação da pasta
- Fissuração superficial
- Perda de aderência entre a pasta de cimento e as partículas de agregado
- Exposição dos agregados
- Desplacamento de partes superficiais do concreto
- Corrosão da armadura

Alternativas para correção:

- Escarificação mecânica para remoção do concreto desagregado, Cap. 5
- Reparo superficial localizado
- Reparo superficial generalizado
- Reparo profundo localizado
- Proteção superficial do concreto

2.2.14 Eflorescência

Manifestação:

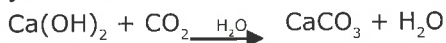
Eflorescência

Lajes
Muros e parede-cortina de contenção de solo

Tanques
Silos

Diagnóstico:

- Água infiltrada sob pressão através dos poros do concreto ou fissuras
- Dissolução ou hidrólise da cal livre hidratada, hidróxido de cálcio, até a superfície do concreto – lixiviação
- Acúmulo de solução saturada de hidróxido de cálcio na superfície do concreto - eflorescência
- Carbonatação do hidróxido de cálcio na superfície do concreto

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \xrightarrow{H_2O} CaCO_3 + H_2O$$

Prognóstico:

- Formação de manchas brancas – eflorescências - por acúmulo de carbonatos na superfície do concreto
- Formação de estalactites -lixiviação - nas zonas de maior porosidade
- Diminuição do pH do concreto
- Corrosão da armadura

Alternativas para correção:

- Não intervir, no caso de cicatrização autógena da fissura
- Eliminação da fonte de água que penetra o concreto
- Impermeabilização da superfície em contato com a fonte de água
- Limpeza superficial do concreto
- Selamento superficial das fissuras
- Reparo profundo localizado de regiões com corrosão de armaduras

2.2.15 Ação de Cargas Externas - Impacto

Impacto

- Pilares
- Paredes
- Muros

Diagnóstico:

- Choques de elevadores de cargas, veículos ou embarcações
- Lascamento ou ruptura do concreto afetado

Prognóstico:

- Perda de seção do concreto
- Exposição da armadura
- Corrosão

Alternativas para correção:

- Reparo superficial localizado
- Reparo profundo localizado
- Reforço

Prevenção:

- Colocação de perfis «L» nas arestas das estruturas

2.2.16 Desintegração do Concreto por Abrasão

Abrasão

- Pilares
- Paredes
- Pisos industriais
- Tabuleiros de pontes

Diagnóstico:

- Atrito a seco (atrito, risco superficial ou percussão)
- Desgaste superficial, inclusive da pasta e dos agregados

Prognóstico:

- Desagregação do agregado e da pasta de cimento
- Formação de grandes falhas
- Exposição da armadura (quando é concreto armado)

Alternativas para correção:

- Remoção do concreto desagregado
- Reparo superficial localizado e/ou generalizado para reconstituição da seção perdida
- Endurecimento superficial por silicatação ou ocratização

Prevenção:

- Especificar concreto com baixa relação a/c
- Empregar técnica de endurecimento superficial do concreto:
  -silicatação ou ocratização

2.2.17 Desintegração do Concreto por Abrasão

Erosão

- Pilares de pontes
- Cortinas
- Pisos
- Canaletas e canais

Diagnóstico:

- Desgaste pela ação de fluidos com partículas sólidas em suspensão
- Colisão de partículas com o concreto
- Desgaste superficial
- Quanto menor a resistência à compressão, maior o efeito da erosão

Prognóstico:

- Desgaste superficial do concreto
- Remoção da pasta de cimento e exposição dos agregados
- Aparecimento de grandes falhas
- Perda de resistência
- Exposição da armadura
- Corrosão das armaduras

Alternativas para correção:

- Remoção do concreto desagregado
- Reparo superficial generalizado
- Reparo profundo localizado
- Proteção superficial

Prevenção:

- Especificar concreto com a/c inferior a 0,30 com aditivo incorporador de ar

2.2.18 Desintegração do Concreto por Erosão

Cavitação

- Desaguadouros de represas

Diagnóstico:

- Escarificação superficial do concreto devida a grandes impactos produzidos pela intrusão sobre a superfície irregular do concreto de bolhas de vapor d'água fluindo a grande velocidade.Exemplo típico são os vertedouros de represas.

Prognóstico:

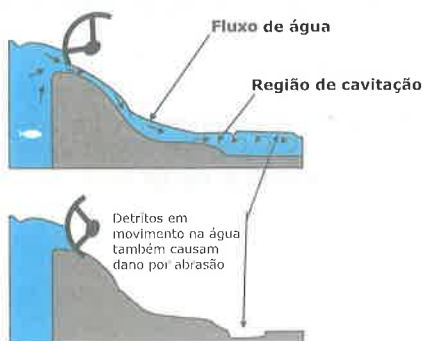
- Desgaste superficial
- Desagregação do agregado e da pasta de cimento
- Formação de grandes falhas (vazios)
- Exposição da armadura

Alternativas para correção:

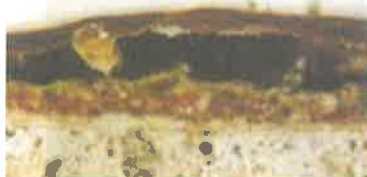
- Remoção do concreto desagregado/ mal aderido
- Reparo raso generalizado com concreto ou argamassa de resina
- Reforço com chapa metálica colada nas regiões de alta pressão

Prevenção:

- Especificação de concreto com relação a/c menor que 0,3 sem aditivo incorporador de ar

- Produzir concreto com superfície lisa
- Especificar inclinação inferior a 30 %

2.2.19 Desintegração do Concreto por Ação Biológica

Ação biológica

- Túneis
- Galerias e tubos em rede de esgotos
- Fundações

Diagnóstico:

Microorganismos	Produtos de metabolismo	Mecanismo de deterioração
Bactérias heterotróficas[1] e fungos filamentosos; Fungos	Ácidos orgânicos	Dissolução da portlandita e silicatos hidratados
Bactérias redutoras de sulfato (BRS)	Gás sulfídrico (H_2S)	Disolução da portlandita
Bactérias quimiolitotróficas[2] *Thiobacillus thioparus* e outras espécies neutrofílicas (10>pH>6) *Thiobacillus thiooxidans* e outras espécies acidofílicas (pH>5)	Ácido sulfúrico	Dissolução da portlandita e silicatos hidratados

Prognóstico:

- Dissolução do $Ca(OH)_2$ e dos silicatos hidratados
  - Lixiviação-
- Desagregação do concreto
- Perda de massa e de resistência
- Destacamento do concreto
- Corrosão da armadura

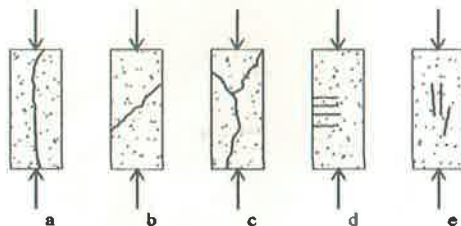
Alternativas para correção:

- Remoção do concreto desagregado e contaminado
- Descontaminação dos microorganismos
- Reparo superficial generalizado
- Proteção superficial do concreto

2.2.20 Ação de Cargas Externas - Compressão

Compressão em Pilares

Diagnóstico:

- Atuação de sobrecargas
- Formação de fissuras dependentes da esbeltez e do grau de ancoragem transversal das extremidades da estrutura

Tipologia:

1. «a», «b», «c»: elementos mais esbeltos
2. «d»: estrutura esbelta com flambagem lateral
3. «e»: no caso de pilares, as fissuras são paralelas ao eixo da estrutura e não coincidentes com a posição das armaduras, aparecendo quando as cargas são da ordem de 85 % a 90 % da resistência do pilar

Prognóstico:

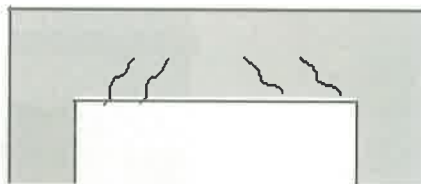
- Fissuração
- Transporte de agentes agressivos
- Carbonatação
- Corrosão das armaduras
- Colapso da estrutura

Alternativas para correção:

- Eliminação da sobrecarga
- Reforço com concreto convencional e aumento de seção
- Reforço com concreto projetado e aumento de seção
- Reforço com chapa colada

2.2.21 Ação de Cargas Externas - Compressão

Compressão em vigas

Diagnóstico:

(Helene, P, 1997)

- Concreto de resistência inadequada;
- Sobrecargas não previstas

Prognóstico:

- Fissuração
- Transporte de agentes agressivos
- Carbonatação
- Corrosão das armaduras
- Colapso da estrutura

Alternativas para correção:

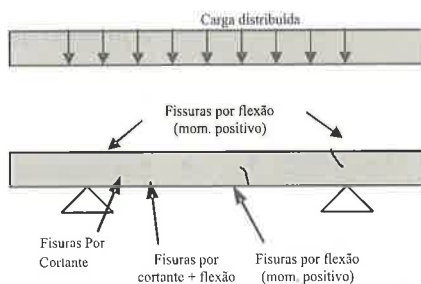
- Eliminação da sobrecarga
- Reforço
  - com concreto convencional e aumento de seção
  - com concreto projetado e aumento de seção
  - com nova armadura longitudinal e estribos reconcretados;
  - com chapa colada
- Eventualmente demolir e reconstruir

2.2.22 Ação de Cargas Externas – Flexão e Cortante

Flexão e cortante em vigas

(Hidalgo, M.,1994)

Diagnóstico:

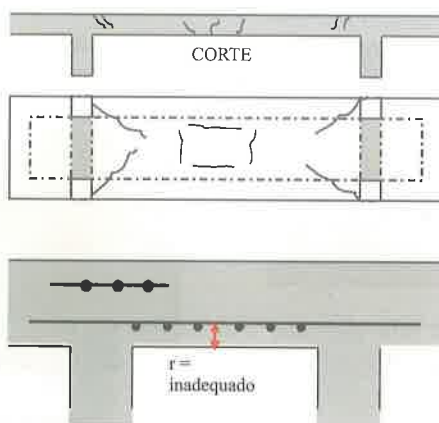
- Atuação de sobrecargas
- Origina-se de solicitações de flexão pura ou pela combinação de flexão e cortante
- Fissuras por flexão pura no meio do vão que terminam na posição da linha neutra
- Fissuras devido à combinação de flexão e cortante, inclinadas, e se localizam entre o meio do vaão e o apoio
- Carga distribuída
- Fissuras por cortante inclinadas e que se localizam próximas ao apoio

Prognóstico:

- Fissuração
- Transporte de agentes agressivos
- Carbonatação
- Corrosão das armaduras
- Colapso da estrutura

Alternativas para correção:

- Eliminação da sobrecarga
- Reforço
  - com concreto convencional e aumento de seção
  - com chapa colada
  - com concreto projetado e aumento de seção

2.2.23 Ação de Cargas Externas – Flexão

Flexão em laje

(Helene, P, 1997)

Diagnóstico:

- Laje muito flexível em estruturas executadas pelo processo de fôrmas tipo túnel;
- Juntas de concretagem mal executadas;
- Armadura insuficiente;
- Armadura insuficiente ou mal posicionada;
- Ancoragem longitudinal insuficiente;
- Desforma antes do tempo;
- Sobrecargas não previstas;
- Fissuração.

Prognóstico:

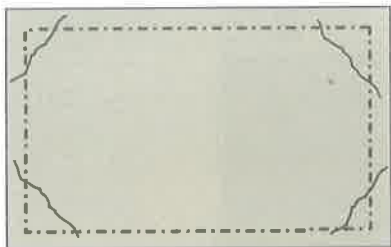
- Fissuração
- Transporte de agentes agressivos
- Carbonatação
- Corrosão das armaduras
- Colapso da estrutura

Alternativas para correção:

- Eliminação da sobrecarga
- Preparar e limpar adequadamente a superfície
- Reforço
  - com concreto convencional e aumento de seção
  - com concreto projetado e aumento de seção
  - com chapa colada ou armadura embutida

2.2.24 Ação de Cargas Externas – Momento Torsor

Momento torsor em lajes

- Lajes

Vista superior de laje apoiada
(Helene, P, 1997)

Diagnóstico:

- Armadura de canto insuficiente;
- Proteção térmica insuficiente.

Prognóstico:

- Fisuração;
- Transporte de agentes agressivos;
- Carbonatação
- Corrosão das armaduras
- Colapso da estrutura.

Alternativas para correção:

- Preparar e limpar adequadamente a superfície
- Reforçar os cantos com nova armadura a 45°
- Efetuar proteção térmica conveniente.

2.2.25 Ação de Cargas Externas – Torção

Torção em vigas

- Vigas

(Hidalgo, M.,1994)

Diagnóstico:

- Atuação de sobrecargas
- Apresenta-se em conjunto com solicitações de flexão e cortante gerando tensões tangenciais à estrutura, de forma similar àquelas originada por esforços de cisalhamento
- Fissuras a 45° em todas as faces do elemento, de forma helicoidal, propagando-se para cima da linha neutra

Prognóstico:

- Fisuração
- Transporte de agentes agressivos
- Carbonatação
- Corrosão das armaduras
- Colapso da estrutura

Alternativas para correção:

- Eliminação da sobrecarga
- Reforço com concreto convencional e aumento de seção
- Reforço com concreto projetado e aumento de seção
- Reforço com chapa colada

2.2.26 Aderência e Ancoragem

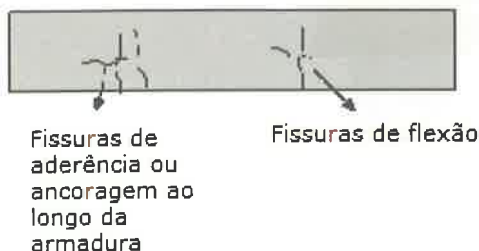
Aderência e ancoragem

- Vigas
- Pilares

Diagnóstico:

- Atuação de sobrecargas
- Concreto com resistência inadequada
- Ancoragem insuficiente
- Exsudação na parte inferior das armaduras horizontais
- Deficiência de altura das nervuras
- Perda de aderência entre armadura e concreto
- Escoramento
- Fissuração próxima às armaduras

Fissuras de aderência ou ancoragem ao longo da armadura

Fissuras de flexão

(Helene, P)

Prognóstico:

- Fissuração
- Transporte de agentes agressivos
- Carbonatação
- Corrosão das armaduras
- Colapso da estrutura

Alternativas para correção:

- Eliminação da sobrecarga
- Reforço com concreto convencional e aumento de seção
- Reforço com concreto projetado e aumento de seção
- Reforço com chapa colada

2.2.27 Corrosão de Armaduras - Carbonatação

Carbonatação

- Qualquer estrutura de concreto

Diagnóstico:

- Penetração do CO_2 da atmosfera no concreto através da porosidade e fissuras
- Presença de umidade nos poros do concreto
- Reação do CO_2 da atmosfera com os componentes alcalinos da pasta de cimento hidratada
- Formação de carbonatos
- Diminuição do pH do concreto
- Despassivação da armadura
- Corrosão

Prognóstico:

- Aumento da espessura da frente de carbonatação
- Redução do pH do concreto
- Despasivação da armadura
- Formação de produtos de corrosão
- Geração de tensões internas
- Fissuração do concreto
- Desplacamento do cobrimento

Alternativas para correção:

- Remoção do concreto carbonatado
- Reparo superficial generalizado
- Reforço com armadura extra ou por substituição
- Realcalinização do concreto
- Proteção superficial do concreto

2.2.28 Corrosão de Armaduras – Ataque de Cloretos

Ataque por cloretos, Cap.1-1.1.2

- Qualquer estrutura de concreto

Diagnóstico:

- Origem dos cloretos no concreto:
  - Contaminação dos agregados ou da água de amassamento, ou o uso de aditivo acelerador de pega à base de $CaCl_2$
  - Ingresso do meio externo marinho, uso de sais de degelo ou de atmosfera industrial
- Combinação de certa quantidade de cloretos com os aluminatos do cimento
- Formação do cloroaluminato ou sal de Friedel
- Teores de Cl^- superiores a 0,4 % em relação à massa de cimento levam à despassivação da armadura
- Corrosão da armadura

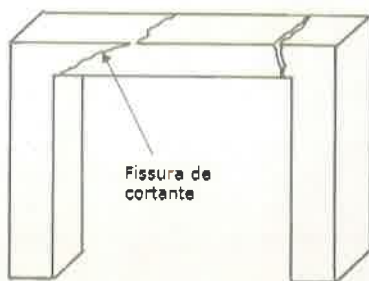
Prognóstico:

- Aumento da umidade interna e da condutividade elétrica do concreto
- Aumento da taxa de dissolução do aço
- Formação de produtos de corrosão
- Produção de tensões internas
- Fisuração do concreto
- Desplacamento do cobrimento

Alternativas para correção:

- Reparo superficial localizado e/ ou generalizado
- Reparo profundo localizado e/ ou generalizado
- Reforço
- Extração eletroquímica de cloretos
- Proteção catódica – materiais e sistemas
- Proteção superficial do concreto

2.2.29 Fissuras ou Rupturas de Cisalhamento

Cortante, Cap.1-1.2.3

(Hidalgo, M., 1994)

- A fissura ou trinca toma uma inclinação compreendida entre 45º e 75º, dirigindo-se 'ao apoio e seccionando a viga em sua face lateral e na inferior. A maior abertura estará na zona de tração.
- As fissuras formadas dependerão da taxa de aço longitudinal, da quantidade do mesmo que chegue ao apoio e do número de estribos, espaçamento e disposição geométrica.

Diagnóstico:

- Sobrecargas não previstas.
- Seção insuficiente da viga.
- Concreto de resistência inadequada.
- Taxa de armadura longitudinal insuficiente.
- Desforma precoce.
- Estribos insuficientes, diâmetro menor que o exigido ou comprimento de ancoragem insuficiente.

Prognóstico:

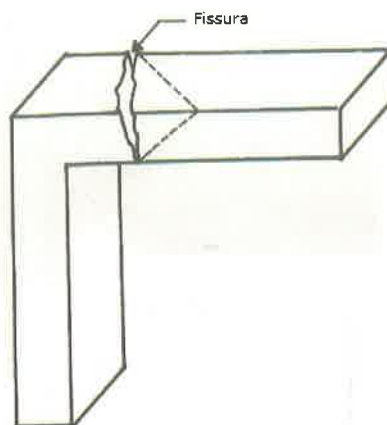
- Deformações irreversíveis.
- Possível colapso da viga.
- Corrosão da armadura.

Alternativas para correção:

- Analisando adequadamente o elemento estrutural, poderá ser necessário:
  - escorar o elemento para poder realizar a recuperação estrutural.
  - reforçar as vigas por cortante
  - eventualmente, demolir e reconstruir.

2.2.30 Fissuras ou Rupturas por Flexão e Torção

Flexão e torção

(Hidalgo, M., 1994)

- Anomalia muito grave, a ruptura pode ser rápida.
- As fissuras tomam diferentes inclinações em cada face da viga, apresentam-se em elementos que podem ser vigas de canto, vigas em balanço que se submetam a fortes momentos fletores e torsores.

Diagnóstico:

- Ancoragem insuficiente.
- Aço de reforço mal posicionado no projeto ou durante a execução.
- Sobrecarga não prevista.
- Armadura de reforço insuficiente.
- Não consideração dos esforços de torção.
- Concreto de resistência inadequada.

Prognóstico:

- Deformações irreversíveis.
- Possível colapso da viga.
- A armadura pode sofrer corrosão aumentando o risco de colapso.

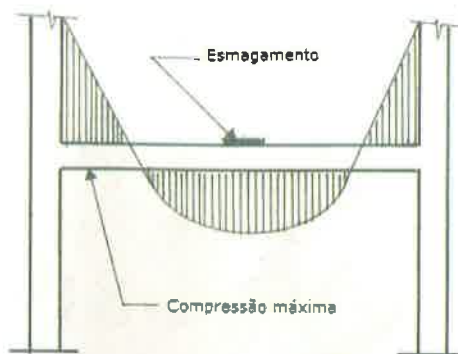
Alternativas para correção:

Depois de analisar adequadamente o elemento estrutural, poderá ser necessário:

- escorar o elemento para poder realizar a recuperação estrutural.
- reforçar as vigas por flexão e torção
- eventualmente, demolir e reconstruir.

2.2.31 Fissuras ou Rupturas de Compressão

Compressão

(Hidalgo, M., 1994)

- Formam-se fissuras na zona de compressão por esmagamento do concreto; embora tenham aparência inofensiva, são muito perigosas.
- Costuma ocorrer em vigas de pequena seção de concreto e grande quantidade de aço.
- Quando as fissuras são grandes e o concreto atinge o limite de resistência, ocorre a ruptura brusca.
- Estas vigas trazem problemas de cortante e deformações.

Diagnóstico:

- Cálculo deficiente.
- Excesso de carga.
- Seção insuficiente com quantidade muito grande de aço na zona de tração.
- Concreto de menor resistência com abundância de aço na zona de tração.

Prognóstico:

- A armadura pode sofrer corrosão, agravando a situação.
- Deformações irreversíveis da viga.
- Possível colapso.

Alternativas para correção:

Depois de analisar adequadamente o elemento estrutural, poderá ser necessário:

- reforçar as vigas por compressão
- eventualmente, demolir e reconstruir

2.2.32 Falhas Construtivas – Ninhos de Concretagem

Segregação devida a concretagem mal feita

- Qualquer tipo de estruturas

Diagnóstico:

- Concreto mal dosado
- Dimensão máxima característica do agregado maior que o espaçamento da armadura
- Concreto vertido de alturas superiores a 2,50 m
- Compactação inadequada: excessiva ou deficiente

Prognóstico:

- Agregados graúdos sem coesão e aparentes
- Armaduras aparentes
- Concreto poroso
- Diminuição da resistência do concreto
- Carbonatação
- Corrosão das armaduras

Alternativas para correção:

- Reparo superficial localizado com argamassa polimérica ou de base epóxi ou de outro tipo
- Reparo profundo localizado com argamassa base cimento ou concreto
- Revestimento de proteção

Segregação devida a mau detalhamento ou mau posicionamento da armadura

- Zonas vazias nas faces do elemento, onde em algunos casos a armadura pode estar exposta.

Diagnóstico:

- Erros de projeto e/ou colocação das barras de aço.

Prognóstico:

- Por falta de continuidade da massa de concreto e adêrência, perde-se o monolitismo da seção do elemento.
- Formam-se juntas frias que podem dar lugar à penetração fácil de agentes corrosivos do aço.

Alternativas para correção:

- Eliminação do concreto segregado até atingir substrato são
- Limpar bem as superfícies
- Reparo raso localizado com argamassa polimérica ou de base epóxi ou de outro tipo
- Reparo profundo localizado com argamassa base cimento ou concreto
- Revestimento de proteção

2.2.33 Falhas construtivas – deficiência no posicionamento da armadura

Armaduras aparentes

- Pilares
- Fundo de lajes
- Vigas
- Cortinas

Diagnóstico:

- Falta de colocação de espaçadores
- Armaduras de diferentes bitolas misturadas ou deslocadas devido ao trânsito de operários
- Armaduras aparentes no momento da retirada das fôrmas

Prognóstico:

- Ausência de cobrimento ou pequeno cobrimento
- Fissuração paralela às armaduras
- Perda do cobrimento
- Carbonatação
- Corrosão

Alternativas para correção:

- Remoção do concreto desagregado
- Limpeza da armadura
- Reparo superficial localizado
- Reparo profundo localizado
- Proteção superficial do concreto

2.2.34 Falhas construtivas – escorregamento da armadura

Escorregamento da armadura em vigas

(Hidalgo, M., 1994)

- Aparição de fissuras próximo ao apoio devido à garra insuficiente dos estribos com pequeno comprimento de ancoragem.
- Ocorre falha por cortante, a ausência de estribo produz fissuras que, mesmo sendo muito finas, não deixam de ser perigosas.

Diagnóstico:

- Colocar estribos sem fechar ou com comprimento de ancoragem insuficiente.
- Ancoragem insuficiente.
- Má aderência do aço de reforço com o concreto.
- Sobrecarga não prevista.
- Resistência inadequada do concreto.

Prognóstico:

- A armadura pode-se corroer.
- Redução da capacidade portante do elemento.
- Redução da vida útil, a menos que sejam realizados os reparos adequados.

Alternativas para correção:

Depois de analisar adequadamente o elemento estrutural e o meio ambiente em que este se encontra, poderá ser conveniente:

- reforçar a viga, aumentando sua rigidez.
- eventualmente, demolir e reconstruir.

2.2.35 Falhas construtivas – Dosagem inadequada do concreto

*Retração plástica no topo do pilar por **deficiência de dosagem do concreto***

(Hidalgo, M., 1994)

Diagnóstico:

As fissuras horizontais no topo de pilares que surgem durante a hidratação do cimento são denominadas de retração plástica. Quanto mais esbelto o pilar e mais fluido o concreto, maior quantidade de água se acumula na parte superior, o que facilita a aparição de danos

- Vibração excessiva.
- Alta relação água/cimento.
- Concretagem defeituosa no topo do pilar.

Prognóstico:

- Pode ocorrer o achatamento do topo do pilar se o concreto não possuir a resistência adequada.
- Deformações plásticas do topo do pilar.
- Possibilita a corrosão da armadura

Alternativas para correção:

- Injeção de resina epóxi
- Calafetação de fissuras com selantes elastoméricos base uretano ou polissulfetos

Referências Bibliográficas

AGUADO,A.; AGULLÓ, L.; CÁNOVAS, M.; SALLA, J. M. «Diagnóstico de daños y reparación de obras hidráulicas de hormigón». Madrid, E.T.S.I.C.C.P. Universidad Politécnica de Cataluña & Universidad Politécnica de Madrid, 1996. 285 p.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Guide to Durable Concrete: reported by ACI Committee 201. ACI Manual for Concrete Practice. Detroit, 1988. pg 109-111

ANDRADE, C. Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras. Trad. e adaptação de Antonio Carmona e Paulo Helene. São Paulo, PINI, 1992. 104p.

ANDRADE, C. Vida útil de estructuras de hormigón armado: obras nuevas y deterioradas. In: Seminário Internacional EPUSP/FOSROC sobre Patologia das Estruturas de Concreto – Uma Visão Moderna. Anais. São Paulo, 1992. 16p. pg 113-116-117

ANDRADE, C. ; SAGRERA, J. L. La durabilidad del hormigón. Estratos, n.20, p.10-20, 1992. pg 114

ANDRADE, C.; BACLE, B.; ALONSO, C. Evaluación de la eficacia de una reparación para hormigón contaminado con cloruros. Materiales de Construccion, v.38, n.211, p.25-39, jul./ ago./set. 1988. pg 111

BICZÓK, I. La corrosion del hormigon y su proteccion. Trad. Emilio J. D'ocon Asensi. 6.ed. Bilbao/España, Ediciones Urmo, 1972. 715p.

CARMONA FILHO, A.; MAREGA, A. Retrospectiva da patologia no Brasil: Estudo estatístico. In: Jornadas en Español y Português sobre Estructuras y Materiales. COLLOQUIA 88. Madrid, CEDEX, IET, mayo 1988. p.100-123. pg 110

CASTRO, P.; CASTILLO, R.; CARPIO, J.; GENESCÁ, J.; HELENE, P.; LÓPEZ, W.; PAZINI, E.; SANJUÁN, M.; VÉLEVA, L. Corrosion en estructuras de concreto armado: teoría, inspección, diagnóstico, vida útil y reparaciones, México, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. 1998. 125p.

COLLEPARDI, M. Scienza y Tecnologia del Calcestruzzo. Milano, Urico Hoepli, 1980 pg 109-111

EMMONS, P. H. Concrete Repair and Maintenance. Kingston, R. S. MEANS COMPANY, INC. 1994. 295p.

FERNÁNDEZ CÁNOVAS, M. Patologia e terapia do concreto armado. Coord. técnico: L. A. Falcão Bauer. Trad. M. Celeste Marcondes, Carlos W. F. dos Santos e Beatriz Cannabrava. São Paulo, PINI, 1988. 522p.

FIGUEIREDO, E. P. Terapia das construções de concreto: metodologia de avaliação de sistemas epóxi destinados à injeção de fissuras passivas das estruturas de concreto. Porto Alegre, 1989. 169p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Rio Grande do Sul.

FIGUEIREDO, E. P.; ANDRADE, C. ; HELENE, P.R.L. Fatores determinantes da iniciação e propagação da corrosão da armadura de concreto. São Paulo, departamento de engenharia de construção civil –PCC, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, 1993. (Boletim técnico da escola politécnica da USP. Departamento de engenharia de construção civil, BT/ PCC121).

FIGUEIREDO, E. P.; Avaliação do desempenho de revestimentos para proteção da armadura contra a corrosão através de técnicas eletroquímicas – Contribuição ao estudo de reparo de estruturas de concreto armado. São Paulo, 1994. 423p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

GUIMARÃES, A. T. Vida útil de estruturas de concreto armado em ambientes marítimos. São Paulo, 2000. 241p.Tese(Doutorado)–Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. pg 116

HELENE, P. R. L. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto Armado. São Paulo, 1993. 231p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. pg 113

HELENE, P.R.L. Corrosão em armaduras para concreto armado. São Paulo, PINI, 1986. 47p.

HELENE, P.R.L. Vida útil das estruturas de concreto. In: CONPAT 97 – IV Congresso Ibero-americano de Patologia das Construcões e VI Congresso de Controle de Qualidade. Anais. Porto Alegre, 1997, v.1, p.1-30. pg 114-116-111-115

HELENE, P.R.L. Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto. Havana, IMCYC, 1997. 148 p.todos os pies das Tabelas

HIDALGO, M. Diagnosis y Causas en patologia de la Edificación. Sevilla, España. 1994. ISBN 84-604-9013-0 todos os pies de figuras das Tabelas
HO, D.W.S.; LEWIS, R. K. Carbonation of concrete and its prediction. Cement and Concrete Research, v.17, n.3, p.489-504, 1987.
MOREIRA, H. S. P. Ação de alguns agentes agressivos sobre concretos amassados com diferentes tipos de cimentos brasileiros. São Paulo, 2001. 160p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
MORINAGA, S. Prediction of service lives of reinforced concrete buildings based on the corrosion rate of reinforcing steel. In: Fifth International Conference on Durability of Buildings Materials and Components. Brighton, U.K. eds. Baker, Nixon; E & SPON, p. 5-16, 1990. pg 115
NEPOMUCENO, A. Comportamiento de los morteros de reparación frente a la carbonatación y a la penetración de cloruros en estructuras de hormigón armado danãdas por corrosión de armaduras; Estudio mediante la técnica de resistência de polarización. Madrid, 1992. 371p. Tese (Doutorado) – Universidad Politécnica de Madrid.
NMAI, C. K. Recent developments in the design of reinforced concrete structures for long service lives from a corrosion perspective. In: 42º Congresso Brasileiro do concreto. Anais. Fortaleza, ago. 2000. pg 115
PAGE, C. Barriers to the predictions of service life of metallic materials. In: Problems in Service Life Prediction of Building and Construction Materials, NATO ASI - Series E, n.95, Ed. Larry Masters, USA, 1985. . pg 115
PAGE, C. L.; TREADAWAY, K. W. J. Aspects of the electrochemistry of steel in concrete. Nature, v.297, p.109-15, May. 1982. . pg 115
PALERMO, G.; HELENE, P.R.L.; ROSSETO, C.M. Deterioração microbiológica em obras subterrâneas urbanas – Contribuição para a compreensão. In: CONPAT 97 – IV Congresso Ibero-americano de Patologia das Construcões e VI Congresso de Controle de Qualidade. Anais. Porto Alegre, 1997, v.1, p.265-72.
PAULON, V.A. Execução de concretos duráveis. São Paulo, ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland, 1999. 48p. (ET-84). . pg 111
POURBAIX, M. Atlas of electrochemical equilibrium in aqueous solutions. NACE, Cebelcor, 1976.
REUNION INTERNATIONALE de LABORATOIRES D'ESSAIS et MATERIAUX. Measurement of hardened concrete carbonation depth: recommendation CPC-18. Materials and Structures, v.21, n.126, p.453-55, Nov. 1988.
SOBRAL, H. S. Durabilidade dos concretos. 2.ed. São Paulo, ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland, 1990. 56p. (ET-43).
SOMERVILLE, G. Service life prediction – an overview. Concrete International. v.14, n.11, p.45-49, Nov. 1992. . pg 115
SOUZA,V.C.M. ; RIPPER,T. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. 1.ed. São Paulo, PINI, 1998. 255p.
TUUTTI, K. Corrosion of steel in concrete. Stockholm, 1982. 469p. Tesis Doctoral – Swedish Cement and Concrete Research Institute. . pg 112-113
VÉNUAT, M. Relation entre la carbonation du béton et les phenomenes de corrosion des armatures du béton. In: Rencontres CEFRACOR 77, ITBTP, Paris, 25/26 Oct. 1977. 14p.
VÉNUAT, M.; ALEXANDRE, J. De la carbonation du béton. França, CERILM, Publicação n.195, 1969. 30p.

CAPÍTULO 03

Orientação para a Seleção da Intervenção

CAPÍTULO 03

Orientação para a Seleção da Intervenção

Autores
Antonio Aguado

Cesar Díaz
Luis Agulló
Vicente Alegre
Xavier Casanovas

Introdução

Neste capítulo são apresentados os princípios básicos para a seleção da técnica de reparo ou proteção mais apropriada em cada caso prático de reparo de componentes estruturais de concreto armado. Para isto, foi adotado um esquema expositivo organizado com as diversas fases constituintes do processo de seleção, a saber desde a imprescindível coleta de datos preliminar/registro organizado da informação compilada, até a relação (com comentários) das diversas técnicas e materiais que poderão ser utilizados.

Assim, em primeiro lugar são apresentados os fundamentos do diagnóstico e o alcance das diversas operações de inspeção das anomalias, quais ensaios realizar e as formas de análise da informação obtida. Em segundo lugar, são relacionados os diversos tipos de intervenção possíveis, de acordo com os objetivos da recuperação, e são comentados aspectos e condicionantes de todo o tipo - técnicos, econômicos, arquitetônicos, ambientais, de segurança, de controle, de manutenção, etc. - que convém considerar no processo de seleção da intervenção. Em uma terceira e última parte, são detalhados e precisados os materiais e técnicas de reparo disponíveis, especificando suas propriedades, campos de aplicação, critérios de seleção e características de execução, comparando-se e atribuindo-se um grau de importância aos diversos procedimentos descritos, em função das possíveis variáveis presentes em cada situação.

O objetivo do presente capítulo é tornar possíveis uma metodologia e uma base de conhecimentos ao engenheiro, para que este possa decidir qual sistema de intervenção realizar, que seja útil para o estabelecimento de um plano de atuação e de um primeiro nível de seleção da técnica a aplicar, a qual vai exigir, para suadefinitiva concretização, o conhecimento em detalhe das propriedades, características e custo dos diversos produtos comerciais disponíveis e da capacidade e peculiaridades das empresas aplicadoras locais.

Foi precisamente este objetivo, de divulgação e generalização, que tornou aconselhável na confecção e redação do texto consultar técnicos de diferentes formações e procedências, engenheiros especializados em estradas e rodovias, arquitetos e técnicos em arquitetura, de modo a facilitar a interpretação do conteúdo deste capítulo ao maior número possível de leitores potenciais, com a única condição de que tais técnicos fossem profissionais que participam e trabalham no amplo mundo ibero-americano da construção.

3.1 O Diagnóstico

A intervenção deverá obrigatoriamente estar ligada a uma fase prévia, que consiste na definição, tão exaustiva quanto possível, da condição ou estado atual da estrutura, contendo um «estudo de anomalias», e concluindo com o diagnóstico sobre o fenômeno que deu origem às anomalias, suas causas, prognóstico e um leque de recomendações e propostas de atuação.

A informação gerada nesta fase preliminar é a base para orientar a seleção da intervenção. É estudada a resposta de uma estrutura existente, com várias incógnitas (algumas sem solução), às ações mecânicas e reológicas cuja história em geral não é conhecida em profundidade, ao contrário do caso de um projeto novo, em que tais ações são definidas como hipóteses. A intervenção exigirá um projeto que levará em conta a resposta da estrutura (com base em diagnóstico já realizado) e como esta vai responder e evoluir diante das intervenções que se realizem sobre ela.

Figura 3.1.1. Flexímetro com instrumentação termo-higrométrica para compensação de efeito. Monitor para acompanhamento de deformações e variáveis termo-higrométricas em 16 canais

Os estudos de danos em geral requerem, em primeiro lugar, a presença de um especialista, o patólogo, capaz de estudar situações-limite reais que vão além do disposto em normas e trabalham no interregno entre ciência e prática. O patólogo tem de ter consciência de suas limitações, e dado que os trabalhos de definição do estado (condição) atual da estrutura são estatisticamente complexos e os processos patológicos extraordinariamente variados, além das ciências e técnicas de que dispõe, ele deverá buscar o apoio de uma equipe multidisciplinar e especializada que lhe permita aprofundar-se no estudo das variáveis em questão.

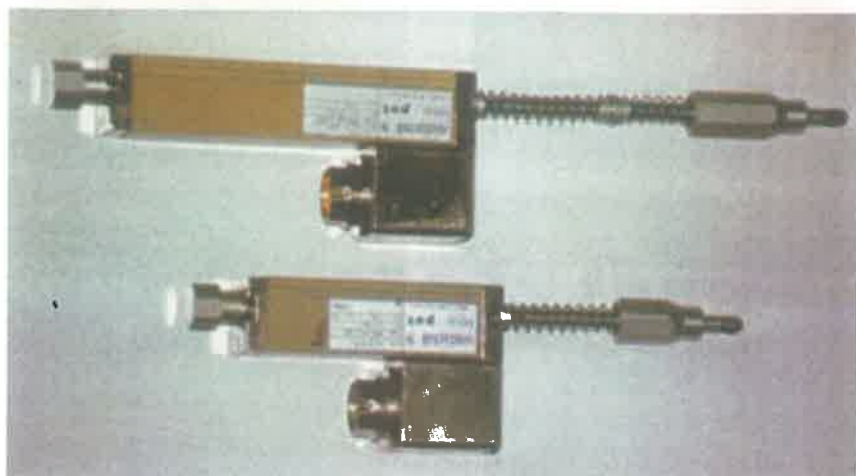



Figura 3.1.2. Transdutores potenciométricos de deslocamento

3.1.1 Fundamentos

O ponto de partida para um estudo correto das anomalias, que não deverá ser esquecido por quem colhe dados para a definição do tipo de intervenção a realizar sobre a estrutura, são os itens seguintes:

- Cada construção é única, sem igual.
- As estruturas reagem às mudanças e às intervenções segundo o princípio da energia mínima.
- Sempre que possível, dever-se-á tender para a metodologia científica, buscando fundamentar cientificamente a resposta e evitando os métodos intuitivos nos procedimentos de emergência. Ferramenta importante é o estudo da sensibilidade das variáveis às hipóteses básicas.
- Deve haver um equilíbrio entre a análise numérica e a instrumentação e ensaio.
- A resposta de uma estrutura muitas vezes está implícita nos subsistemas (componentes) solidários a ela.
- É preciso saber discriminar os fenômenos patológicos dos que não são patológicos.

- Um número pequeno de causas produz a maior parte dos defeitos (princípio de Pareto)
- Não há uma relação biunívoca entre causa e dano, sendo que uma única causa pode dar lugar a vários efeitos, e um efeito pode derivar de várias causas.

Figura 3.1.3. A estrutura da árvore adapta-se a seu ciclo energético

Figura 3.1.4. Fissuras horizontais em pilar devidas a assentamento plástico. Sem conseqüência estrutural.

- A obtenção de informação «in situ» deve basear-se no princípio do «mínimo número de indícios para obter o máximo de informação».
- Deve ser apreciada a importância de um erro novo na ocasião de ponderar o grau de risco da intervenção.

Figura 3.1.5. Fissuras verticais em um pilar mal reparado onde haviam sido retirados os estribos, como se vê ao remover o cobrimento. Evidente conseqüência estrutural.

Figura 3.1.6. Deslocamento de apoio devido a marcação incorreta do nível da laje. A rigidez da viga faz a parede entrar em carga.

3.1.2 Metodologia

Figura 3.1.7. Prova de carga para medir a rigidez real de uma passarela em serviço

Os **passos básicos, na metodologia científica**, para a análise de uma patologia, que devem ser contemplados no relatório, são:

- **Levantar todos os antecedentes** possíveis (projeto original, história de cargas, modificações, usos, componentes adjacentes, condições de contorno)
- Realizar uma **coleta de dados exaustiva**, já que nunca há informação suficiente. Catalogar os danos (escritos, gráficos e/ou em vídeo), tratando de intuir inclusive possíveis vícios ocultos.
- Realizar **ensaios, pesquisas e instrumentação** para conhecer, estudar e analisar as variáveis que tenham podido influir nos danos.

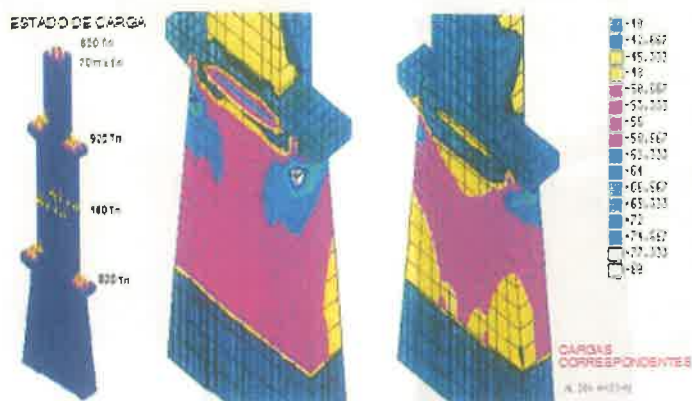



Figura 3.1.8. Análise das tensões em um pilar por elementos finitos

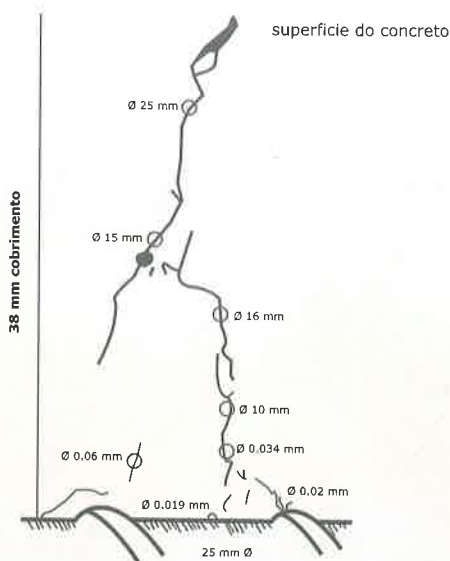



Figura 3.1.9. Fissura provocada pelo aumento de volume da armadura.

- **Análise teórica**, modelando o comportamento do elemento para justificar cientificamente a causa.
- **Etiologia das causas** a partir da informação prévia, do levantamento de dados, do cadastro de anomalias, ensaios, pesquisas, instrumentação e estudos teóricos.
- **Conclusões e recomendações** em função do conhecimento adquirido, e quais as conseqüências de um novo erro.

Figura 3.1.10. Detetor de deslocamento à base de raio laser.

Em suma, é preciso conhecer a fundo a obra em seu conjunto, a resposta real da estrutura às ações que realmente ocorreram. A missão do patólogo é unir o invisível e o manifesto para estabelecer a origem de um fenômeno. Para realizar o diagnóstico, é importante **«conhecer o paciente» no todo**.

Figura 3.1.11. Receptor de raio laser situado em um pilar para medir a diferença de assentamento entre este pilar e outro, onde é colocado o emissor de raio laser

3.1.3 Sobre o alcance do diagnóstico

A definição do estado atual e/ou o **estudo de danos deverá constituir um documento abrangente**, ainda que com um nível de informação diferente conforme o diagnóstico seja de dano leve ou grave. Na Tabela 3.1.1, a seguir, é indicada uma lista de verificação que permite avaliar o nível de informação conseguido, e se existem argumentos suficientes para decidir sobre a necessidade ou não da intervenção e o grau de risco da mesma. Como corolário do diagnóstico, **nas conclusões e recomendações** do estudo deve ficar refletida a **necessidade do projeto de recuperação**, e de que tanto o projeto como a execução sejam executados por profissionais e equipes acreditados.

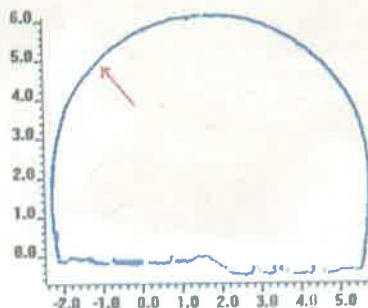



Figura 3.1.12. Scanner de túnel colocado sobre um veículo que registra de forma quase contínua o perfil transversal do túnel

Figura 3.1.13.

3.1.4 Sobre as características técnicas do diagnóstico

Tecnicamente, será preciso avançar no **estudo com a definição do grau de risco** dos componentes estruturais e, portanto, deverão ser realizados ensaios baseados em amostragem suficiente que permitirão **conhecer as variáveis que influenciam a definição dos coeficientes de risco** nas diferentes etapas da construção, que ajudem a definir o **grau de risco na fase de projeto** e que, na medida do possível, levem em conta o grau de risco na fase de construção e na obra já construída.

O diagnóstico exige que tenha sido ponderada criteriosamente a sensibilidade das variáveis às hipóteses dos modelos, a fim de poder contrastá-lo com a resposta real da estrutura e associar cientificamente a causa ao efeito. **Quando**, por falta de informação ou porque o tempo ou os recursos financeiros previstos para o estudo não permitiram um maior aprofundamento, **não for possível estabelecer com certeza a causa real do problema, deverá ser tomada uma decisão de forma explícita** porque: é um dever ético, trata-se de uma premissa para qualquer trabalho deste tipo e também porque «às vezes, não fugir é o mais urgente».

Não deve ser esquecido que a tecnologia está em contínua evolução, aparecem novos materiais, novos ensaios, novos métodos de diagnóstico e também novas causas de danos.

Uma técnica de grande utilidade para definir o estado atual da estrutura a partir de seu comportamento (sem desmerecer os modelos deterministas) **são os métodos estatísticos** englobados nas **técnicas de análise multivariável**, que definem o estado atual mediante a instrumentação das variáveis mais significativas e paralelamente fazem a dedução do comportamento da estrutura a partir de sua própria história.

O procedimento normal consiste em fazer uma partição dos dados obtidos por instrumentação, ajustá-los e testá-los, e configurar o modelo utilizando apenas

os primeiros dados obtidos, correspondentes a um período anterior. Deste modo, será possível fazer um prognóstico do modelo com relação ao dados seguintes, e comprovar sua validade. A validação do modelo é o resultado da consideração conjunta dos dados experimentais e da explicação que o modelo faz dos mesmos.

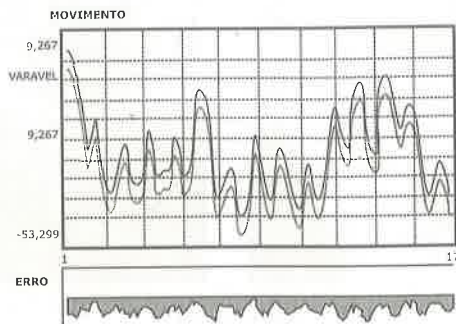



Figura 3.1.14. MÉTODO ESTATÍSTICO: Instrumentação de uma variável e resposta do modelo.

Um caso prático seria o de uma barragem, em que instrumentando-se 6 (seis) variáveis e criando as correspondentes funções explicativas, definiu-se o comportamento (por exemplo, a movimentação). A instrumentação definirá o nível d'água da barragem, a temperatura ambiente, a movimentação no mês anterior, o empuxo hidrostático, a fluência do concreto e a inércia térmica; a partir da definição destas funções no período de ajuste, faz-se o contraste do modelo no período posterior de prova e se conclui com uma avaliação dos erros.

Análise de erros

Em suma, procurando-se conhecer a resposta da estrutura a uma série de ações em um dado período, que se pode considerar de ajuste, pode-se modelar o comportamento da estrutura e posteriormente comprovar o modelo com a evolução da resposta da estrutura no outro período (de prova).

Tabela 3.1.1. Lista de verificação para avaliar o alcance do diagnóstico

ALCANCE DO DIAGNÓSTICO
FASE PRÉVIA
O autor do estudo é um especialista?
Consta o prazo para realizar o estudo e as visitas realizadas?
Havia informação suficiente ou apareceram mais dados que poderiam ajudar no diagnóstico?
Existe informação sobre a história da construção e suas modificações posteriores?
É conhecido o ano de construção e das modificações ou reformas?
Os usuários e os órgãos oficiais foram consultados?
Foi tentado encontrar o autor do projeto original e os documentos do mesmo?
Foi possível contar com informações de técnicos intervenientes: construtor, gerente de obra, controle de qualidade, e outros?
Quais eram os vícios de construção típicos da época?
Existe informação sobre as condições de contorno (limites geotécnicos, usuários vizinhos, acidentes ou efeitos climáticos especiais, microclima, e outros?

DANOS OBSERVADOS
Existem mais fissuras que as catalogadas?
Existem danos que não foram levados em conta? O cadastro de anomalias é completo?
Que tipo de evolução é verificada desde quando foi feito o estudo? Essa evolução confirma a causa do dano?
Existe experiência sobre o sistema estrutural?
Foram analisados os apoios e nós?
É válida a metodologia utilizada?
Está descrita e registrada em especificações e plantas?

ENSAIOS
Existe experiência sobre o comportamento dos materiais?
Os ensaios e instrumentações estão sendo realizados de acordo com alguma norma ou homologação?
Foi utilizado algum critério estatístico para a amostragem/cadastramento de anomalias?
Foi seguida alguma norma de amostragem por atributos?
Que tipo de instrumentação foi feita e com que critério: nivelamento, inclinometria, fissurometria, extensometria, outros?
Os ensaios são suficientes para definir as características introduzidas nos modelos?
O ensaio realizado caracteriza o material no local que interessa?

ESTUDOS DE GABINETE
Que normas foram consultadas Em que aspectos foram sobrepujadas?
Foi estudada a segurança por métodos deterministas, semiprobabilistas, estatísticos, ...?
Existe comprovação de cálculo em situação normal e alterada?
Verificação da estrutura:
Dados geométricos: Soldas (ligações)
Sistema estrutural: Defeitos internos
Concorrência de vazios: Muros
Estado dos apoios
Técnica de armar a estrutura
Foram estudados os estados limites de serviço: (vibrações, deformações, outros)?
Foram estudados os estados limites de ruptura?
Existem estimativas de durabilidade?
Existe estudo de sensibilidade das variáveis às hipóteses básicas?

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES
O nível de conhecimento adquirido é suficiente?
Qual é a vida útil prevista caso não sejam realizadas intervenções?
Tenho algum critério para decidir se reparo, reforço ou realizo nova construção?
É comentada nas recomendações a necessidade de que tanto o projeto como a execução sejam realizados por empresa/profissional acreditado?.

3.2 Orientação Sobre os Sistemas De Intervenção

Em toda intervenção estrutural, o diagnóstico prévio é a base do conhecimento do edifício, de seu estado de conservação, das lesões que apresenta e das causas que as provocaram. É sobre essa diagnose precisa, contrastada e fiável, que nos apoiaremos para determinar as soluções mais idôneas aplicáveis em cada caso.

3.2.1 Tipos de intervenções

Para obter uma seleção correta das técnicas e materiais de intervenção mais adequados, é preciso determinar preliminarmente a função ou funções que estas deverão cumprir uma vez em serviço.

Pelas características dos trabalhos a realizar e pela sua maior ou menor incidência nos aspectos estruturais, podemos optar por cinco alternativas ou tipos de intervenção genéricos que comportam em si mesmos formas de atuação muito diferentes entre si. De modo amplo, tais soluções podem ser resumidas no seguinte.

Atuações emergenciais

Consideraremos neste grupo as atuações que terão de ser realizadas rapidamente para remediar lesões que podem ser perigosas no uso normal do edifício, ou para dar uma resposta a alguma necessidade urgente de funcionalidade do componente estrutural. Muitas vezes, este tipo de intervenção tem caráter provisório e seu objetivo prioritário é o de manter a estrutura em serviço e/ou evitar riscos aos usuários durante o tempo de realização do diagnóstico, do projeto de recuperação e da execução definitiva do reparo. Em outros casos, este tipo de intervenção se estabelece como permanente.

Figura 3.2.1. Em muitos casos, o escoramento estrutural está comprometido e exige uma definição precisa.

Atuações de prevenção e/ou proteção

Trata-se de intervenções que têm como objetivo dar uma proteção aos componentes estruturais para evitar ou reduzir o avanço do processo de degradação ou protegê-los contra o fogo, atmosferas agressivas, corrosão, desgaste superficial e outros. Sob este conceito, podem ser definidas diferentes variantes; assim, pode-se atuar protegendo diretamente o componente estrutural, atuando sobre o seu entorno, limitando as cargas de uso e estabelecendo uma manutenção ou controle periódico de seus elementos críticos.

Figura 3.2.2

As limitações de uso podem-se mostrar muito úteis para estruturas que não se encontram em situações limites.

Figura 3.2.3

As pinturas protetivas deverão ser aplicadas sobre elementos que não apresentem fissuras, de modo a conseguir os efeitos desejados. Manter uma estrutura em uso pode exigir a realização de controles periódicos da mesma.

Reparos

Quando a degradação afetou o componente estrutural, devemos definir o reparo da região afetada para recuperar seu desempenho em serviço inicial, desempenho este que deverá ser adequado à função estrutural do componente. A complexidade e importância deste tipo de atuações pode resultar muito variável, em função das características do componente, sua geometria e seu estado de degradação.

Figura 3.2.4

Os reparos que precisam ser feitos nas regiões degradadas são complexos e requerem um diagnóstico muito preciso para determinar a extensão dos trabalhos.

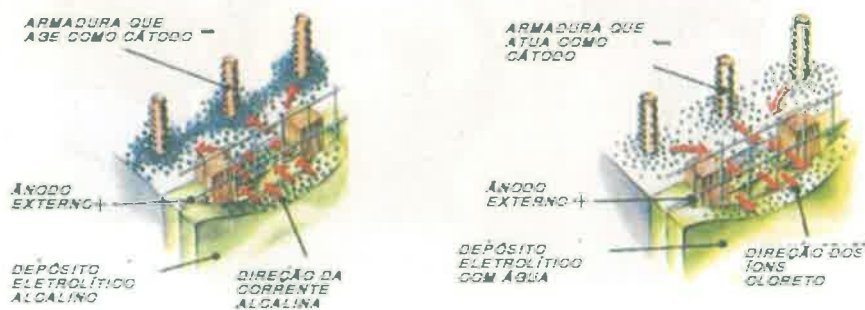



Figura 3.2.5. Sendo ainda experimentais, as novas técnicas de reparo para extração de cloretos ou realcalinização sugerem grandes possibilidades de utilização em um futuro próximo.

Reforços

Quando nos deparamos com erros de cálculo ou novas solicitações que superam as previstas inicialmente para os componentes estruturais, devemos recorrer à incorporação de novos componentes estruturais mediante sistemas de reforço adequados.

Figura 3.2.6. O aumento da capacidade portante mediante chapas metálicas ou fibras de carbono tornou-se uma das técnicas de reforço mais freqüentes.

Os reforços com concreto, em alguns casos, e com perfis metálicos, em outros, são também recursos adotados em muitos casos de reparos de estruturas de concreto.

Figura 3.2.7

Substituição da estrutura

Quando a incapacidade estrutural se torna manifesta e o reforço difícil de aplicar, opta-se pela sustituição da estrutura. Esta substituição pode ser realizada eliminando-se fisicamente o elemento estrutural e substituindo-o por outro, novo, uma decisão que torna o reparo mais simples, anulando sua função mecânica atual mediante a introdução de novos elementos resistentes.

Dada a complexidade dos componentes estruturais de um edifício e a diversidade de situações que podem surgir, é comum que nos encontremos diante da necessidade de aplicar várias dessas opções definidas conceitualmente. Para simplificar o trabalho, é recomendável agrupar situações semelhantes, de modo a dar-lhes um tratamento único, evitando

assim uma multiplicidade de graus de intervenção que complicariam desnecessariamente o trabalho de projeto e mais ainda os trabalhos de execução. Será sempre o diagnóstico realizado que nos permitirá estabelecer grupos homogêneos quanto a características e estado de conservação, e para cada um deles será determinado um tipo de intervenção adequada a cada situação.

Figura 3.2.8. A substituição funcional de estruturas de concreto deve ser considerada como um último recurso. Entretanto, freqüentemente é preciso recorrer a ela por ser irreversível o processo patológico sofrido pelo elemento.

3.2.2 Aspectos a considerar na seleção da intervenção

Em geral, as possíveis soluções para um determinado problema estrutural são várias e várias são as alternativas igualmente válidas, eficazes e viáveis. Dado que não existe norma específica para atuações de recuperação, na tomada de decisão é importante «pisar em terra firme», e encher-se de argumentos para a tomada de decisão. Não será fácil detectar uma ruptura frágil nem um vício oculto, apesar de que, dadas as lacunas legais existentes, alguém terá de assumir a responsabilidade.

Em todos os casos, são requeridos critérios de ponderação complementares com os quais determinar a opção que melhor se ajusta a nossas circunstâncias. Em geral, poderíamos considerar os seguintes aspectos:

Aspectos técnicos

Trata-se do critério fundamental a ser levado em conta na tomada de decisões. Neste sentido, a solução deve garantir:

- Resposta correta às limitações e exigências estruturais apresentadas pelo edifício e seus componentes.
- Vida útil de serviço de acordo com o uso previsto.
- Desempenho em serviço adequado ao uso e ao entorno quanto a aspectos de impermeabilidade e proteção contra o fogo.
- Correto tratamento das alterações no funcionamento do sistema estrutural durante a intervenção ou como resultado dela.
- Comparação de qualidade dos materiais e técnicas aplicáveis.
- Compatibilidade físico-química dos materiais previstos na recuperação com os materiais existentes.
- Execução dos trabalhos e manutenção razoavelmente possíveis para o tipo de edifício a recuperar.

Figura 3.2.9. A proteção contra o fogo, a qualidade e a compatibilidade dos materiais são alguns dos aspectos técnicos que não podemos esquecer na seleção da solução mais apropriada.

Os aspectos que comentamos seqüencialmente têm função complementar, embora possam-se tornar decisivos na seleção da solução sempre e quando os aspectos técnicos tenham ficado claramente garantidos.

Aspectos econômicos

No caso freqüente em que diversas alternativas tecnicamente corretas possam ser aplicadas, o custo econômico de cada uma delas pode-se tornar um aspecto chave para a tomada de decisão. Estabelecer um quadro comparativo entre a efetividade e o desempenho oferecido pelas diferentes alternativas, juntamente com o custo econômico de cada uma delas, costuma ser muito esclarecedor.

É preciso ter sempre presente que o custo a considerar deve ser sempre o de toda a operação, incluindo os materiais e sua aplicação correta. Também os parâmetros de efetividade, durabilidade e possíveis custos de manutenção deverão ser analisados ao longo da vida útil, isto é, o custo global da intervenção deverá ser considerado.

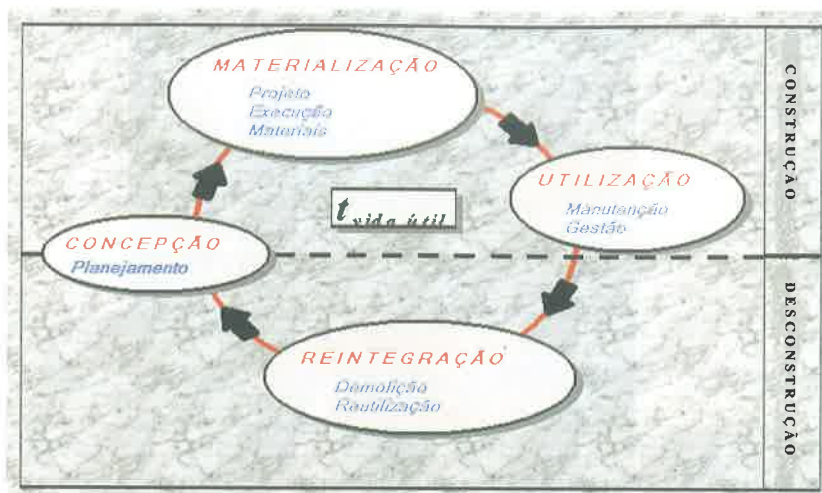



Figura 3.2.10

Aspectos operacionais

Quando estamos estabelecendo o grau de importância de uma solução, não podemos nos esquecer das limitações que esta pode-nos apresentar no sentido operacional, a saber:

- Acesso ao componente para o seu reparo, considerando as operações preliminares e os meios auxiliares necessários.
- Operações complementares necessárias durante a fase de execução, tais como bombeamento, remoção de capas superficiais, e outros.
- Disponibilidade dos recursos tecnológicos na região ou país onde está situada a obra.
- Capacidade, conhecimento e recursos técnicos da empresa construtora que ficará encarregada dos trabalhos.
- Disponibilidade de mão-de-obra local com habilidade, treinamento e experiência necessários.
- Disponibilidade de pessoal técnico capacitado para a coordenação, controle e tomada de decisões durante a fase de execução da obra.
- Capacidade para cumprir os prazos de execução estabelecidos para a implantação dos trabalhos estruturais como parte de outras operações mais amplas.

- Adequação funcional do espaço onde se vai levar a cabo a atuação (alturas livres, espaço lateral, e outros) e de acesso para os meios auxiliares, pessoal e fornecimentos necessários.
- Consideração das variáveis climáticas e termo-higrométricas da região de reparo quanto a sua possível incidência na intervenção prevista.

Figura 3.2.11. As dificuldades operacionais de algumas soluções podem torná-las inviáveis, sendo necessário adotar as soluções mais apropriadas à nossa realidade e nosso meio.

Aspectos arquitetônicos

Algumas das soluções ao nosso alcance para a intervenção em estruturas de concreto comportam alterações de forma, volume, textura superficial ou de cor. Em alguns casos, essas alterações não têm importância, mas em outros (concreto aparente, estruturas formalmente aparentes, etc.) provocarão uma modificação nos aspectos arquitetônicos e artísticos do edifício que podem tornar inviáveis soluções que seriam técnica, econômica e funcionalmente recomendáveis. Mesmo assim, o valor do testemunho histórico que alguns edifícios e estruturas de concreto adquiriram com o tempo exige um estudo cuidadoso das alternativas possíveis aplicáveis, tendo o cuidado de evitar alterações estéticas no resultado final.

Nesses casos, pode ser importante analisar a reversibilidade, entendida aqui como a capacidade de uma intervenção de poder ser eliminada sem deixar seqüelas de ordem física ou química no material reparado.

Figura 3.2.12.

Figura 3.2.13. Uma prática interessante para evitar conflitos sociais durante os reparos é apresentar os trabalhos aos vizinhos e proprietários.

No caso de edifícios patrimoniais, onde o concreto converteu-se em um material insubstituível e inalterável, a intervenção fica complicada pelo objetivo de não poder ser apreciada visualmente. Exemplo: Unité d'Habitation de Le Corbusier em Marselha e restauração de igreja românica na Catalunha.

Quando a intervenção demandar desalojar pessoas, isto poderá ser determinante na escolha da melhor solução, e deverá ser definida uma substituição funcional no lugar de um reforço propriamente dito. Nesses casos, o prazo de execução tem um papel importante.

Em algumas intervenções, prever e organizar a participação social pode ser um dos fatores essenciais para o sucesso da operação.

Aspectos ambientais

Os requisitos ambientais estão sendo decididamente incorporados ao setor da construção. Nas intervenções em estruturas de concreto, este aspecto pode ser determinante em alguns casos. Devemos diferenciar duas situações complementares: a fase de execução e a de utilização e manutenção.

Na fase de execução devemos selecionar materiais de baixo impacto ambiental e que não impliquem risco de toxicidade para os aplicadores, evitar a demolição e minimizar a produção de resíduos, não causar contaminação acústica no entorno da obra, evitar a contaminação do ar ou da água durante os trabalhos e racionalizar o consumo energético do processo. Nessa análise devemos considerar o ciclo de vida de todos e cada um dos componentes a serem empregados.

Figura 3.2.14.

Durante o período de uso, as soluções aplicadas não devem ser tóxicas ou nocivas à saúde das pessoas, nem apresentar consumos energéticos superiores aos habituais.

A obediência a esses parâmetros de decisão freqüentemente nos orientará para soluções de menor impacto e pode-nos ajudar a descartar algumas que haviam-se consolidado como habituais.

Minimizar a produção de resíduos e gerenciá-los corretamente é uma atitude de respeito pelo meio ambiente que deverá ser mantida ao longo dos trabalhos de recuperação estrutural.

3.2.3 Outros condicionantes para a intervenção escolhida

Além de decidir a solução a aplicar nos diferentes componentes do sistema estrutural do edifício, é necessário definir detalhadamente o processo de execução e as técnicas e materiais a empregar. Trata-se de duas ações ou passos que seguem um caminho paralelo e que implicam uma série de condicionantes mútuos. Neste sentido, é necessária a elaboração de um projeto executivo, que deve ficar a cargo de uma equipe técnica qualificada.

Para esse tipo de trabalho, existe uma certa tendência a confiar às empresas especializadas, com sua experiência e conhecimento, a determinação das condições de trabalho, as técnicas e materiais a empregar e o processo de execução. Embora sejam muitas as empresas realmente qualificadas neste campo da recuperação estrutural de concreto, cada dia mais empresas se introduzem nesta área com conhecimento insuficiente e sem pessoal preparado para os trabalhos especializados que este tipo de atuações exige. Conseqüentemente, devemos ser capazes de preparar uma boa definição da solução escolhida, com uma especificação técnica que permita à entidade que vai fazer o controle de qualidade homologar o construtor e seus operários, os materiais a utilizar (certificação de origem industrial e de lote) e, de modo geral, homologar todo o processo.

Além das indicações sobre as diferentes técnicas e materiais que são expostos no item 3.3 a seguir, na decisão e definição dos trabalhos a realizar devemos considerar os aspectos seguintes:

Procedimentos preliminares

A sensibilidade dos usuários e vizinhos frente às intervenções estruturais nos edifícios existentes exige cumprir-se corretamente os trâmites administrativos previstos. Neste sentido, será necessário prever a obtenção de todas as permissões e licenças exigidos, fazer atas de reunião onde se definam as condições de contorno previstas na recuperação e esclarecer responsabilidades com as construções vizinhas, serviços afetados, ou com o próprio edifício nas regiões onde não será executado nenhum serviço de reparo.

Do ponto de vista social, pode ser importante resolver a inquietação criada pela necessidade da recuperação, e portanto é conveniente «sancionar a

intervenção» do ponto de vista técnico e de tranqüilidade para o usuário.

Escoramentos e atuações emergenciais

Dado seu caráter provisório, os meios auxiliares pelos quais as cargas devem ser transmitidas durante ou após o reparo são os que se esquecem primeiro no projeto. A importância destas operações, que assumem um papel de anestesia da estrutura e de garantia da segurança, exige-nos estudá-las e defini-las com o máximo de rigor profissional, ajustando-as à solução ou soluções escolhidas.

Neste sentido, devemos dimensionar corretamente o escoramento e espaçar seus elementos em pontos precisos para garantir seu comportamento estrutural correto, sem dificultar os trabalhos que serão realizados. A consideração da geometria e armação das peças e do seu comportamento estático no momento de escorar será a forma de evitar danos freqüentemente irreparáveis, em conseqüência da provocação de mudanças em seu sistema de trabalho para os quais o escoramento não foi dimensionado.

É também imprescindível garantir a correta transmissão de cargas entre os diferentes componentes do edifício do topo até o nível do terreno, evitando provocar deformações, recalques ou sobretensões localizados no escoramento ou na própria estrutura.

Não devemos nos esquecer que são muitos os casos em que um mau escoramento foi a causa de danos maiores que os que se pretendia corrigir.

Dimensionar corretamente e colocar com precisão o escoramento é imprescindível para garantir o sucesso da intervenção.

Soluções construtivas

Quaisquer que sejam as técnicas e materiais a empregar, do ponto de vista construtivo é necessário definir os detalhes do funcionamento estrutural de cada componente e sobretudo das interconexões entre eles.

Nas intervenções de reforço e de substituição, estes aspectos alcançam a maior importância, e é preciso preparar detalhes construtivos que mostrem com clareza os sistemas de apoio e de transmissão dos esforços para os novos elementos resistentes. Conseguir que os reforços ou os novos componentes estruturais absorvam as tensões previstas no cálculo nem sempre é tarefa fácil, e sua eficácia depende essencialmente do projeto de soluções construtivas corretas e adaptadas às circunstâncias do caso.

Uma boa definição dos diferentes detalhes construtivos é imprescindível para alcançar os resultados esperados e evitar erros de execução.

PLATABANDA A CARA LATERAL NERVI
4 MM GRUIX X 70 MM DE ALTURA
FIXACIO BHVA M16 HILTI
PLACA ANCORATGE DE
PERFIL A PILAR
HVA M16
XAPA PLEGADA 60X10 A
FIXADA A SOSTRE
IPE 240
TAPA AGLOMERAT FUSTA
BATENT EIX HORITZONTA
NOVA SITUACIO PERSIAN
HVA M12

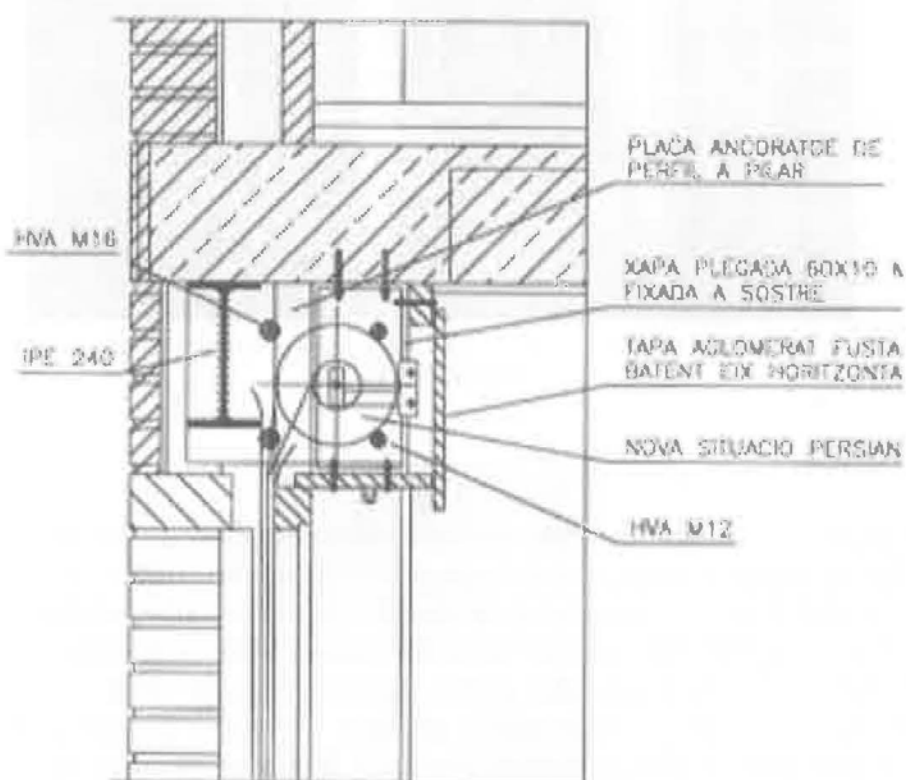
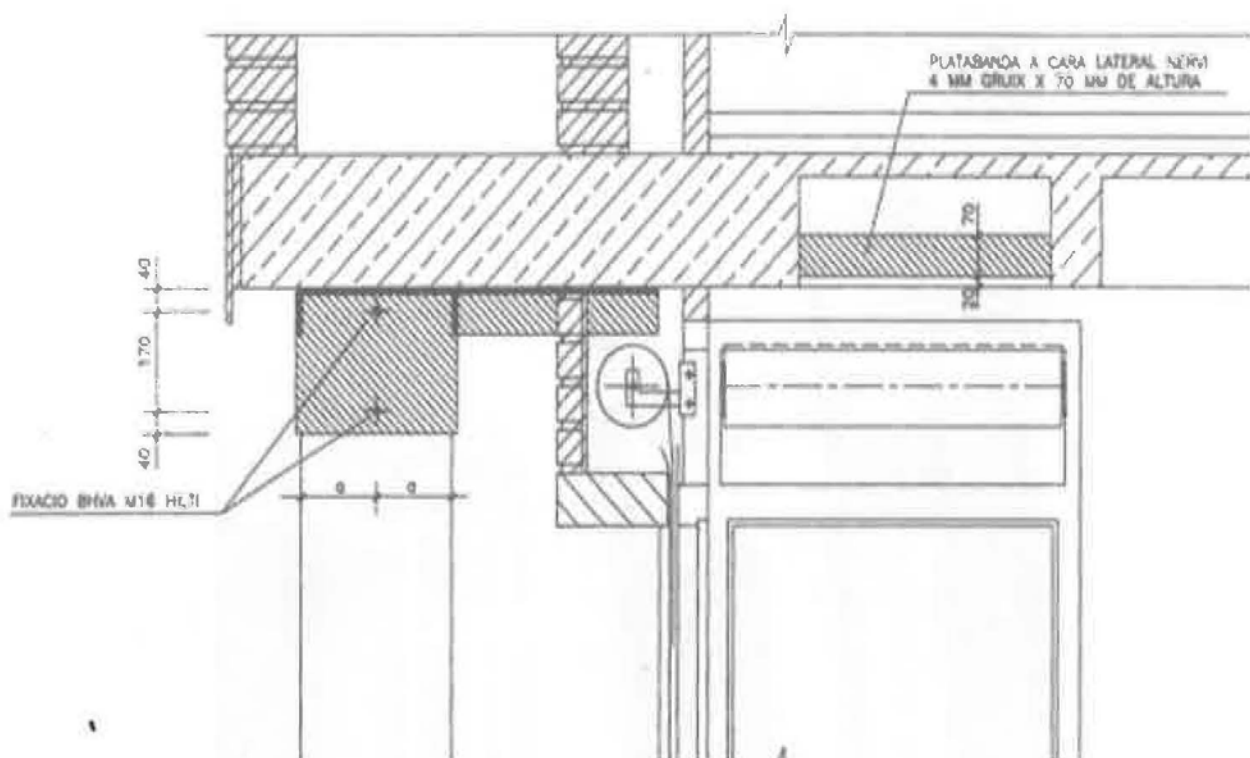



Figura 3.2.15.

Figura 3.2.16.

Segurança

As características de muitas destas intervenções as tornam especialmente complexas e perigosas para os operários que irão materializá-las. Considerar todas as medidas preventivas necessárias para evitar acidentes e garantir a segurança dos trabalhadores também deverá fazer parte dos considerandos na escolha de uma solução e da documentação onde serão definidos os trabalhos a realizar, assim como os que deverão desenvolver-se no futuro em trabalhos de inspeção e manutenção. Neste mesmo sentido, não podemos subestimar ou esquecer a possível toxicidade de alguns componentes a empregar e estabelecer as medidas corretivas pertinentes.

A segurança dos trabalhadores tornou-se um dos aspectos fundamentais a considerar no momento da execução dos trabalhos.

Figura 3.2.17.

Meio ambiente

Para que os trabalhos a serem realizados sejam ecologicamente corretos, é preciso planejar a implantação dos mesmos, pensando na solução mais idônea para dar resposta a esta exigência. No caso das intervenções em estruturas de concreto, é preciso minimizar os resíduos e organizar a gestão e tratamento corretos dos resíduos inevitavelmente produzidos. Mesmo assim, neste tipo de trabalho é preciso estar muito atento para a produção de ruído, pó ou contaminação das águas, por disposição direta ou por lixiviação, e à economia de energia.

A toxicidade de alguns produtos utilizados exige um tratamento cuidadoso deles.

Figura 3.2.18.

Controle e recepção

É importante confiar a realização dos trabalhos a uma empresa com experiência e capacidade reconhecidas neste tipo de trabalho. De todo modo, é preciso pensar que a solução adotada deve permitir estabelecer um procedimento de execução e controle de qualidade dos materiais, da sua aplicação e do processo de execução, para garantir o cumprimento dos requisitos de projeto. Esse trabalho deverá apoiar-se em todas as provas e ensaios que se considerem precisos para sancionar a intervenção, ou dar continuidade na execução da mesma.

Ao final dos trabalhos, é preciso realizar uma ata (controle) de recepção, que seja o resultado de uma inspeção exaustiva dos trabalhos realizados e do grau de cumprimento das condições de projeto.

Manutenção

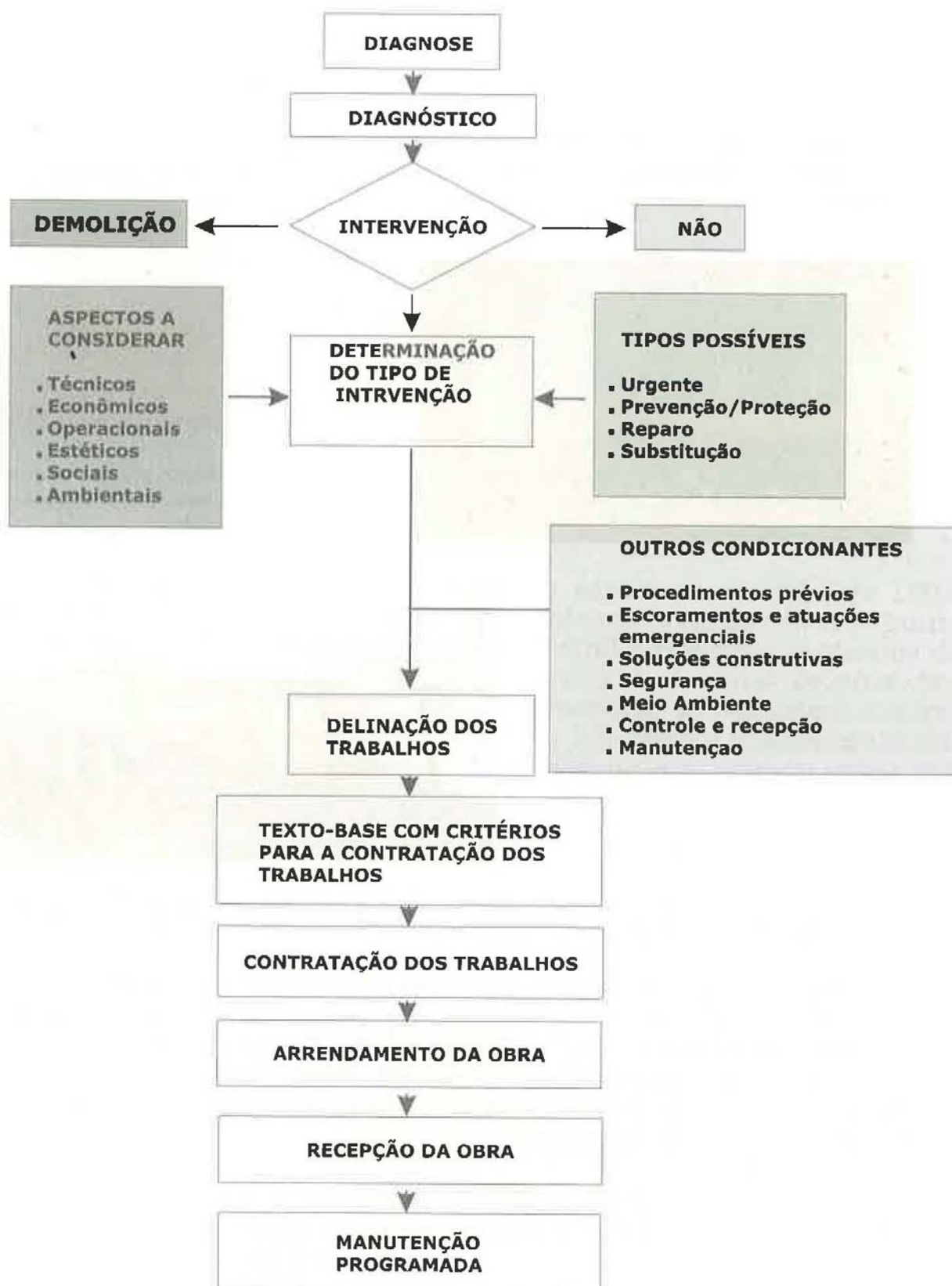
Um aspecto imprescindível a ter presente nesse momento é o que se refere à futura manutenção ou desempenho em serviço da estrutura e das intervenções realizadas ao longo de sua vida útil.

Neste sentido, devem-se prever as operações que terão de ser realizadas periodicamente (inspeções, limpeza, proteção, mudança de componentes, e outras), e estabelecer as medidas necessárias para facilitar sua execução. Isto que dizer que é preciso estabelecer a possibilidade de manutenção dos diferentes componentes, prevendo os meios de acesso permanentes ou eventuais.

Uma vez finalizados os trabalhos, é preciso dotar o proprietário de uma ampla e detalhada documentação técnica relativa aos trabalhos realizados, os materiais e técnicas empregados e instruções claras sobre as inspeções e operações de manutenção que serão executadas ao longo da vida útil do edifício, além dos prazos para sua execução.

Figura 3.2.19.

É fundamental dispor de um sistema adequado que permita a inspeção e execução dos trabalhos de manutenção, de modo a garantir a realização de tais trabalhos.

3.2.4 Árvore de decisões e fatores a considerar

3.3 Orientação Sobre Materiais e Técnicas

3.3.1 Introdução

Frente a um problema de dano em estrutura de concreto que portanto requer reparo e/ou reforço, é necessário fazer um projeto de recuperação. Este projeto, em comparação com um projeto de construção nova, requer também critérios técnicos, econômicos, estéticos, ambientais, etc. Assim, no projeto de recuperação é preciso ter presente uma série de condicionantes que não são incluídos, em geral, em um projeto de obra nova. Entre tais condicionantes podem ser considerados: a necessidade de manter a estrutura em serviço, a urgência da intervenção, a forte pressão social sensibilizada pela existência do problema, possíveis custos políticos elevados devido a um problema novo em conseqüência da recuperação, entre outros.

Figura 3.3.1. Em um reparo, além dos condicionantes usuais, aparecem outros de grande significado: Manutenção do serviço, urgência da intervenção, pressão social, etc.

Em um projeto de reparo e/ou reforço de uma estrutura, como em qualquer outro projeto de obra nova, deverão ser levadas em conta as interações existentes entre cada etapa, porém ao mesmo tempo é preciso lembrar que com muita freqüência as intervenções são feitas sem a existência de um projeto específico bem desenvolvido, o que evidentemente aumenta o risco de uma intervenção inadequada.

Pelo contrário, em outros projetos é preciso ter presente que alguns dos condicionantes assinalados implicam um importante grau de especialização tanto do projetista como das empresas que realizam a recuperação, assim como dos fornecedores (fabricantes) dos materiais utilizados. A não

consideração de tais condicionantes pode levar ao fracasso da intervenção, ou seja faz *chover no molhado*, com um reparo, reforço, etc., mal projetado onde as conseqüências ruins poderão ser ainda maiores.

O presente item do Capítulo 3 tem por **objeto** apresentar os princípios básicos que deverão ser utilizados na definição da técnica de intervenção, no reparo e/ou reforço de estruturas de concreto massa, armado ou protendido, incidindo especialmente nas interações existentes entre as técnicas e os materiais de reparo, assim como nos condicionantes externos que possam-se apresentar.

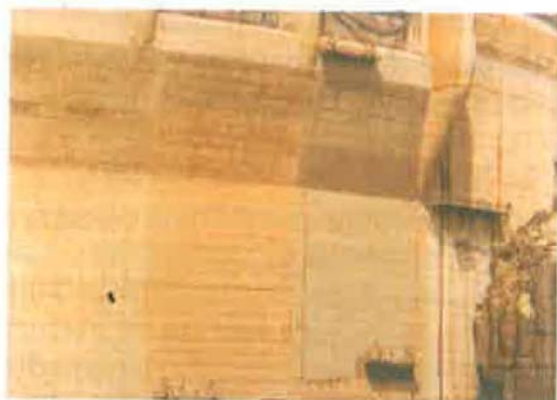



Figura 3.3.2. Um reparo sem um diagnóstico adequado pode conduzir a resultados ineficientes

Figura 3.3.3. A seleção inadequada do aplicador especializado levou ao fracasso da aplicação e à necessidade de refazer os trabalhos

Sobre este assunto existe uma norma espanhola, a UNE-ENV 1504-9, intitulada *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 9: Principios generales para el uso de productos y sistemas*[1], de junho de 1999. Dada a semelhança do título deste texto com o da norma citada, este item do capítulo 3 foi escrito levando em conta os aspectos mais conceituais, deixando os aspectos mais práticos para a norma citada. Tal norma faz parte de um conjunto composto por 10 partes, a maioria delas na etapa de elaboração. No anexo 1 é apresentada a relação de normas que compõem esta unidade.

3.3.2 Materiais de reparo

Considerações gerais

Embora tenha sido apontado anteriormente, convém recordar, dada sua importância, que não se deve realizar qualquer intervenção sem haver identificado previamente a causa do problema. Evidentemente, esta consideração é válida em todos os casos, exceto nas intervenções de caráter emergencial, como as realizadas pelo Corpo de Bombeiros.

[1]N.T. Produtos e sistemas para a proteção e reparo de estruturas de concreto. Definições, requisitos, controle de qualidade e avaliação de conformidade. Parte 9: Princípios gerais para uso de produtos e sistemas.

Em primeiro lugar, é preciso apontar que os materiais de reparo são também materiais usuais em estruturas novas[1], embora neste caso tenham aplicação específica, como é o caso do reparo e/ou reforço. Assim, pois, a composição destes materiais, com relação ao concreto, gira em torno dos aglomerantes básicos

- Aglomerante hidráulico (água e cimento), ao qual podem ser introduzidas diferentes modificações (aditivos, cinza volante, microssílica, etc.) para ajustar o material de reparo de forma mais satisfatória a determinados requisitos específicos que possam ser exigidos.

- Aglomerante orgânico (resinas), que pode apresentar-se em diferentes famílias (epóxi, poliéster, acrílico, etc.), sendo compatível ou não com a água.

e de outros materiais que contribuem com funções de resistência ou serviço, como é o caso basicamente dos materiais metálicos de diferentes tipos: fibras de aço, armadura passiva, armadura ativa em ancoragens, chapas metálicas ou de materiais compósitos, etc. Assim, pois, de todos os materiais possíveis no reparo, não são comuns outros tipos de materiais associados a situações muito específicas (por exemplo, materiais betuminosos para o selamento de juntas) ou a requisitos muito particulares (por exemplo, fibra de vidro em alguma aplicação superficial).

Figura 3.3.4. Os aglomerantes de cimento Portland são, geralmente, bem aceitos na recuperação estrutural devido ao conhecimento que se tem dos mesmos.

Figura 3.3.5. Os aglomerantes orgânicos, por serem em geral menos conhecidos pelo técnico, costumam gerar maior grau de dependência de assistência técnica.

[1]N.T.: Mas existem no mercado produtos industrializados de aplicação muito específica, que geralmente não são utilizados em obras novas, como por exemplo o **SET 45 BR**, argamassa de ação química com rápido ganho de resistências, formulada para reparos de pisos de concreto, e outros elementos de concreto, e liberação para uso em curto prazo.

A seleção de um material de reparo está condicionada à causa do dano e à forma de manifestação do mesmo. Assim, para obter êxito na seleção do material e seu uso no reparo, é necessário realizar previamente um diagnóstico correto das causas do dano e extensão do mesmo (Capítulo 2). Não obstante, para ilustrar o assunto, cabe apontar que, em função do caráter estável ou evolutivo de uma fissura, o material a usar é diferente num ou noutro caso.

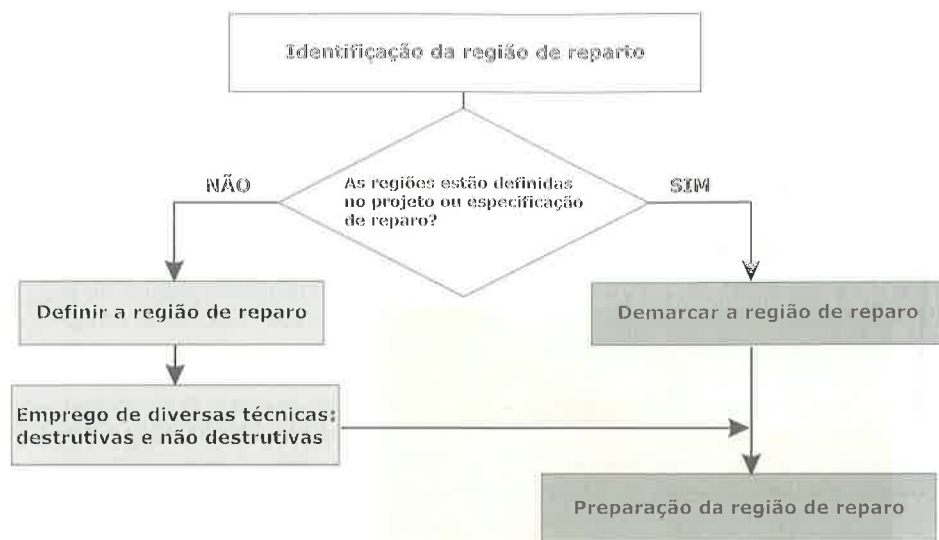
Evidentemente, tal como afirmado por AGUADO et al (1985), existem outros fatores condicionantes da seleção do material de reparo: técnicos, econômicos, estéticos, preparação, fator humano, e outros. Não obstante, em geral as opções existentes em cada caso, tal como mostrado mais adiante, não são muito numerosas, o que facilita a seleção do material. Do ponto de vista econômico, ao escolher um material é necessário incluir não apenas os custos de aquisição do mesmo, mas também os custos de manutenção. A estes custos seria necessário incorporar certos custos de caráter político-técnico associados à probabilidade de fracassar na recuperação estrutural.

Exemplo de uma intervenção incorreta em edifício público, tanto pelo material como pela execução, com resultados negativos importantes.

Isto acarreta, necessariamente, a aparição de problemas posteriores.

A título de exemplo, vamos supor uma recuperação importante de uma barragem com lago para irrigação. Durante o reparo, concluímos que seria necessário cortar ou restringir a cota de água, o que vai dar lugar a fortes tensões entre os agricultores afetados com relação à propriedade da represa. Se a recuperação fracassar, uma intervenção seguinte vai ter um efeito multiplicador importante de tais tensões, as quais afetarão tanto os técnicos encarregados da recuperação quanto os responsáveis pela exploração do lago (açude). Assim, tendo presente que esta problemática tem crescido nos últimos anos, recomendamos introduzir os custos associados à mesma, a fim de fazer uma avaliação global do custo da solução de recuperação no que diz respeito aos materiais e etapas restantes.

Se, tal como se comentou anteriormente, o material de reparo é um material aplicável em obras novas, existe em geral uma diferença entre ambas situações. Esta diferença está no material suporte sobre o qual será aplicado o novo material, que no primeiro caso será o concreto da obra nova, enquanto que no segundo caso será o material constituinte do sistema de fôrmas. Este fato salienta a importância que adquire o substrato na caracterização das propriedades do material de reparo, assim como a interação existente entre

este e a geometria da região de reparo. Em primeiro lugar, é preciso identificar com precisão a região deteriorada, para o que pode-se utilizar um diagrama de fluxo como o da figura acima. Em segundo lugar, é preciso tratar as anomalias que se observam na fachada, tanto pelas fissuras como pelo aspecto das próprias superfícies. No anexo 2 é mostrado um procedimento para a preparação da região de reparo.

Concreto e argamassa base cimento

Na recuperação de estruturas de concreto podem ser empregados diversos tipos de **cimentos**, embora em sua escolha deva-se levar em conta fatores tais como:

- Agressividade do meio: solo, atmosfera, água, etc.
- Compatibilidade física, química e mecânica (em particular, a aderência) entre o concreto novo e o de base (suporte).
- Requisitos em relação ao tempo de parada da atividade, isto é, o tempo para pôr em serviço a obra reparada. Pode ser necessário o emprego de cimento com altas resistencias iniciais.
- Dimensões da obra a reparar. Assim, no caso de grandes volumes (sustituição de grandes componentes) pode ser necessário o uso de cimento de baixo calor de hidratação.

Nessas obras, os fatores técnicos enunciados devem ser prioritários em relação a qualquer outra consideração de tipo econômico, etc., tal como se comentou anteriormente. O cimento escolhido deverá satisfazer os critérios de desempenho prescritos nas normas técnicas.

Quanto aos **agregados** a empregar na recuperação, deve-se prestar especial atenção à natureza dos mesmos, a sua granulometria e dimensão máxima

característica. Com relação a sua natureza, é preciso que se diga que tais agregados deverão ser compatíveis com o cimento empregado, atendendo às condições de agressividade do meio. A granulometria e o tamanho máximo do agregado são, na maioria dos casos, determinantes, devendo-se levar em consideração, para sua seleção, fatores tais como:

- Máxima trabalhabilidade do concreto ou argamassa, a fim de alcançar uma grande compacidade, o que melhora a durabilidade na maioria dos casos.
- Técnica empregada na recuperação: convencional, com concreto preparado no canteiro, projeção, com agregado pré-colocado (*prepack*[1]), injeção, etc.
- A geometria das regiões de reparo e especialmente as espessuras de tais regiões, que condicionam o tamanho máximo do agregado a empregar.

Todos estes fatores fazem com que freqüentemente o agregado selecionado seja claramente diferente do agregado constituinte do concreto de base, o qual não tem porque ter maior importância se se considera a compatibilidade antes citada. Por outro lado, pode ser necessário transportar os agregados desde pontos afastados da obra de recuperação, ao passo que o agregado no concreto do substrato será, em geral, um agregado da região ali mesmo. Quanto à água, o reparo não introduz um elemento diferenciador com relação à água empregada no concreto do suporte, e conseqüentemente passam a ser vigentes todos os requisitos exigidos naquele caso.

Figura 3.3.6. Os aditivos e adições tornaram-se ingredientes característicos dos concretos em obras novas e em reparos. Via de regra, é preciso fazer com que cumpram sua função especificada e que sejam compatíveis com os outros constituintes do concreto ou argamassa e com o substrato, no caso de um reparo.

[1]N.T.: Não deve ser confundida a técnica do cimento injetado na fôrma com o agregado pré-colocado, o *prepack*, com a técnica de encunhamento de argamassa seca e agregado em camadas, o *dry pack*.

Por último, e a fim de conseguir uma maior trabalhabilidade ou para melhorar algumas características do concreto, pode-se decidir pelo emprego de **aditivos**, verificando se os mesmos cumprem a função especificada. O emprego de **adições** (principalmente cinza volante) de forma direta no concreto não é usual em concreto para reparo, exceto no caso de substituição de grandes volumes de concreto, e quando se dispõe do equipamento necessário.

Concreto e argamassa base orgânica

Entende-se como tal os compostos poliméricos introduzidos no concreto para melhorar principalmente duas características do mesmo: as propriedades mecânicas e o comportamento frente a agentes agressivos. Neste caso, os polímeros intervêm no concreto de três formas diferentes:

- Por impregnação. O polímero é introduzido nos vazios (poros e fissuras) de um concreto para subseqüentemente sofrer polimerização. Resulta o **concreto impregnado com polímero**.
- Por substituição do aglomerante hidráulico. O polímero substitui a água e o cimento como aglomerante. Tem-se o **concreto de polímero**.
- Por adição do polímero ao aglomerante hidráulico. Neste caso são amassados conjuntamente o polímero, a água, o cimento e demais constituintes. Resulta o **concreto modificado com polímero**.

Segundo AGUADO & SALLA (1987), hoje em dia a técnica de impregnação é muito pouco utilizada no campo da recuperação estrutural devido a seu custo elevado. Variações desta técnica, por exemplo as capas de imprimação e selamento, são entretanto muito utilizadas para melhorar o suporte e favorecer a aderência com a argamassa ou concreto de reparo.

Figura 3.3.7. As pontes de aderência de um reparo são aplicadas, geralmente, como demãos de imprimação. Entretanto, em um serviço de reparo aparecem outras capas com outras funções, para cada caso concreto (selamento, etc.).

Na técnica de substituição, as resinas usualmente utilizadas correspondem às famílias seguintes: epóxi, poliéster insaturado e acrílicas, sendo as de uso mais amplo as resinas epóxi, tal como afirma FERNANDEZ CANOVAS (1981). Em qualquer caso, a alta retração desses materiais e a própria exotermia da reação de polimerização direciona seu campo de aplicação para aplicações superficiais de pequena espessura e em dimensões (principalmente as

espessuras) não muito grandes.

Os concretos modificados com polímeros, uma vez superados os problemas de compatibilidade entre a água e a resina (nem todas são compatíveis), são os que possuem um espectro mais amplo de aplicações, já que os mesmos podem atuar de diferentes maneiras, conforme ALLEN & EDWARDS (1987), a saber:

- Como redutor de água, dando lugar a argamassas de boa trabalhabilidade, baixa retração e baixa relação água/cimento.
- Melhorar a aderência entre a argamassa (concreto) de reparo e o concreto base.
- Reduzir a permeabilidade à água, dióxido de carbono e óleos aumentando sua resistência a certos agentes químicos.
- Atua, de certo modo, como fator que melhora as características químicas.
- Aumenta as características mecânicas: resistência à tração, flexão, compressão.

Independentemente da técnica adotada, é preciso insistir na necessidade de que o material empregado seja compatível com o concreto base. Esta compatibilidade compreenderá as propriedades físicas e, especialmente, as térmicas, já que ao serem criadas capas ou revestimentos podem existir problemas de aderência entre elas.

Figura 3.3.8. Um aspecto chave para o sucesso da aplicação é a ponte de aderência entre o material de reparo e o substrato de concreto.

Na tabela 3.3.1 são apresentadas as propriedades físicas de diferentes argamassas e concretos com polímeros empregados em reparos, tomando como referência um concreto sem polímeros. Com isto tem-se uma análise comparativa dos principais aglomerantes já vistos neste texto.

Outros materiais

Embora os concretos e/ou argamassas base cimento e base orgânica sejam os mais utilizados na recuperação da maioria das estruturas de concreto, é freqüente, em aplicações específicas, o emprego de outros materiais: armadura passiva e ativa, fibras, produtos betuminosos, e outros. Dado que o espectro de materiais alternativos, enquadrados neste grupo, é muito amplo, fica difícil estabelecer critérios gerais de utilização que abranjam todos os materiais. Não obstante, é comum que os critérios utilizados para estes materiais não dependam, na maioria dos casos, de a obra ser de recuperação, ou seja, em geral eles se adequam bem aos critérios para uma construção nova.

Por outro lado, é preciso insistir na importância que tem uma preparação correta da superfície de reparo, que seja adequada às condições existentes do material de reparo e do meio (grau de umidade, temperatura, materiais, entre outros), de modo a evitar muitos problemas mal resolvidos, dentre eles o da condensação, conforme SASSE & FIEBRICH (1983).

Tabela 3.3.1. Propriedades físicas e mecânicas de diferentes argamassas e concretos

Material	Concreto de polímero		Concreto modificado com polímero	Concreto sem polímero
	Resina epóxi	Resina Poliéster		
Resistência à compressão (MPa)	55-120	55-120	10-80	20-70
Resistência à flexão (MPa)	20-50	20-50	6-15	2-5
Resistência à tração (MPa)	9-20	8-17	2-8	1,5-3,5
Módulo de elasticidade (GPa)	0,5-20	2-10	5-30	20-35
Deformação última na compressão	0-15	0-6	0-5	2-3,5
(‰)	0,15-0,30	0,15-0,30	0,10-0,30	0,10-0,25
Coeficiente de Poisson	10-30	10-35	8-20	7-12
Coeficiente dilatação °C (× 10^{-6})	40-80	50-80	80-250	300
Temperatura máxima serviço (°C)	0-2	0-2	1-8	4-10
Absorção água (% massa)	6-48	2-6	1-7	1-4
Ganho de resistência a 20 °C	horas	horas	dias	semanas

Dentro deste grupo de materiais alguns, por exemplo a armadura ativa, não são listados dado o amplo conhecimento que o profissional de reparo tem deles, ou ainda por se tratar de uma aplicação muito específica de algum material conhecido.

À maneira de resumo, na Tabela 3.3.2, que é uma ampliação da proposta por SHAW (1987), são apresentados os diferentes materiais referidos neste capítulo, associados aos tipos de anomalias a reparar. A tabela não pretende ser uma resposta exaustiva nem excludente de outros materiais e situações específicas, mas deverá ser usada e analisada como uma metodologia para comparar diferentes soluções (materiais) para um mesmo problema.

Figura 3.3.9. O uso de armadura ativa é uma técnica importante em reparos e reforços de problemas por causas mecânicas

Tabela 3.3.2. Alguns materiais de reparo adequados para emprego em diversos tipos de anomalias

TIPO DE MATERIAL	Tipo de superficie Espessura, mm		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Concreto normal	> 25	> 25					
Concreto com fibras de aço	> 40	> 40					
Concreto projetado	12-25						
Argamassa cimento	12-25	12-25					
Argamassa modificada com polímero	12-25	12-25					
Argamassa resina epóxi	6-12	6-12					
Argamassa resina poliéster		6-12					
Imprimación resina epóxi					X		
SBR e copolímero borracha e materiais acrílicos			X		X		D.P.
Espumas de poliuretano							D.P.
Resinas de poliéster e acrílicas de baixa viscosidade			X			X	D.P.
Resina epóxi de baixa viscosidade				X		X	
Sistema polimérico ou outros tipos de selamento							D.P. X

(1) Selamento de fissuras e juntas. (2) Reparo de fissuras estruturais. (3) Melhora das condições de aderência. (4) Bicheiras. (5) Permeabilidade do concreto. (D.P.: Depende da Permeabilidade.)

3.3.3 Técnicas de Reparo

Tipos de técnicas e outras considerações

As técnicas utilizadas no reparo de obras de concreto constituem uma ampliação das técnicas de construção nova. Entretanto, a existência de águaem certas ocasiões durante o reparo (por exemplo, de obras hidráulicas

de concreto) pode exigir intervenções específicas e medidas especiais. Dentre as técnicas mais usuais poderiam citar-se: convencional ou padrão, agregado pré-colocado (*prepack*[1]), projeção, injeção, aplicação de produtos industrializados, imprimação ou ponte de aderência, impregnação e outras.

A seguir, faz-se uma breve descrição das técnicas de reparo, já vistas em outros capítulos, do ponto de vista metodológico:

- A **técnica convencional ou padrão** é a técnica usual de construção de elementos de concreto, armados ou não, tanto mediante pré-fabricação como no canteiro, independente do transporte do concreto. É a técnica mais empregada na recuperação de grandes e pequenas superfícies em condições normais.
- A **técnica do agregado pré-colocado ou *prepack***, como é conhecida, consiste na colocação prévia dos agregados dentro das fôrmas e subseqüente injeção de pasta de cimento. Seu emprego é freqüente em grandes elementos e construção submersa (para o caso de água não se movimentando sob grandes velocidades).
- A **técnica da projeção** é principalmente empregada com argamassas e concretos projetados via seca ou via úmida. Em qualquer caso esta técnica deve ser empregada na recuperação de grandes superfícies com pequenas espessuras, em condições normais. É preciso considerar que o concreto resultante tem, em geral, uma permeabilidade ligeiramente inferior à de um concreto colocado em fôrma e vibrado e, conseqüentemente, pode implicar a presença de problemas de durabilidade por carbonatação do concreto.
- A **técnica de injeção** é empregada principalmente para tapar vias de acesso de água e preencher vazios dentro da massa de concreto ou do terreno. Podem ser empregados produtos cujos constituintes reagem entre si (argamassas de cimentos e resinas), inclusive com um endurecedor químico, ou ainda produtos que reagem com a água e aumentam de volume (espumas, etc.). Seu emprego é freqüente em impermeabilização de grandes áreas/volumes, em qualquer condição, e no selamento de fissuras, juntas, etc.
- A **técnica de imprimação ou ponte de aderência** é a utilização de uma pasta ou adesivo como ponte de união entre o suporte e o novo material. Na mesma aplica-se o material adesivo manualmente (com brocha ou outro meo) ou utilizando meios mecânicos, por projeção. Seu emprego é comum em grandes e pequenas superfícies em diferentes condições.
- A **técnica da impregnação** é utilizada tanto como recurso de aderência como de melhora do material suporte. Nela o material de união é feito penetrar alguns milímetros no suporte mediante vácuo ou outro sistema. Seu emprego, hoje em dia bastante restrito, é indicado em grandes e pequenas superfícies, em condições normais.

---

[1]N.T.: Não confundir a técnica *prepack* com a técnica *dry pack*.

• A **técnica da aplicação de produtos industrializados** faz referência neste caso aos reparos em que se aplica um material pré-fabricado, por exemplo, mantas plásticas em impermeabilizações de canais. Pode ser empregada tanto no caso de áreas grandes quanto pequenas, em condições normais.

Figura 3.3.10. **Técnica *prepack***: No exemplo, utilizada para construção submersa. Vista do pilar após o rebaixamento do nível da água.

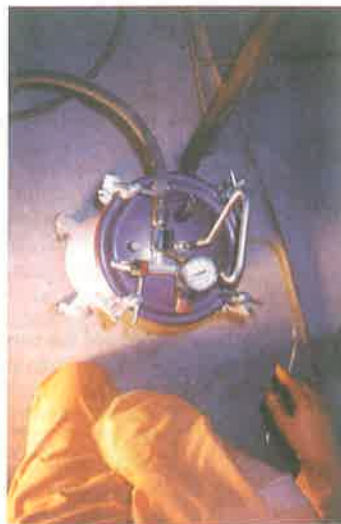



Figura 3.3.11. **Técnica de injeção**: Manual ou automática, com bomba (vista na figura). Importância do operador

Figura 3.3.12. A projeção é uma técnica usual para grandes superfícies e espessuras não muito altas, por exemplo, em canais

A imprimação é uma técnica usual para a criação de uma ponte de aderência com o suporte ou substrato.

No grupo **outras técnicas** podem ser consideradas as ancoragens, ou qualquer outra técnica que resolva problemas mais específicos.

Tabela 3.3.3. Princípios e Métodos relativos aos defeitos do concreto

Princípio nº	Princípio e sua definição	Métodos baseados no Princípio
1 ♐PI℞	**Proteção impermeabilizante.** Redução ou prevenção da entrada de agentes adversos, como a água, outros líquidos, vapor, gás, agentes químicos e biológicos.	Impregnação Aplicação de produtos líquidos que penetram no concreto e obstruem o sistema de poros. Revestimento superficial com ou sem capacidade de selamento de fissuras Bandagem local[1] de fissuras. Preenchimento de fissuras. Continuidade das fissuras através das juntas[1] Levantamento de paneis externos[1][2] Aplicação de membranas[1]
2 ♐MC℞	**Controle de umidade.** Ajuste e manutenção do teor de umidade no concreto dentro de um intervalo de valores especificado.	Impregnação hidrofugante (hidrorrepelente) Revestimento superficial Proteção ou sobre-revestimento[1][2] Tratamento eletroquímico[1][2] Aplicação de uma diferença de potencial entre regiões do concreto para ajudar ou evitar a passagem da água através do concreto. (Não serve para o concreto armado sem uma prévia avaliação do risco de indução de corrosão)
3 ♐CR℞	**Reparo do concreto.** Restauração do concreto original de um elemento da estrutura à forma e função especificada originalmente. Recuperação da estrutura de concreto por sustituição parcial.	Aplicação manual de argamassa Preenchimento com concreto Projeção de concreto ou argamassa Substituição de componentes
4 ♐SS℞	**Reforço estrutural.** Aumento ou recuperação da capacidade portante de um componente da estrutura de concreto.	Adição ou reposição das barras de aço estrutural embutidas no concreto ou externas a ele. Instalação de barras de união no concreto em furos pré-formados ou feitos na obra. Colagem de chapas Adição de concreto ou argamassa Injeção de fissuras, vazios e interstícios Preenchimento de fissuras, vazios e interstícios Protensão (armadura pós-tracionada)[1]
5 ♐PR℞	**Resistência ao ataque físico.** Aumento da resistência ao ataque físico ou mecânico.	Capas ou revestimentos Impregnação
6 ♐RC℞	**Resistência a produtos químicos.** Aumento da resistência da superfície do concreto à deterioração por ataque químico.	Capas ou revestimentos Impregnação

1) Estes métodos podem requerer o uso de produtos e sistemas não cobertos pelas normas da série EN 1504

2) A inclusão dos métodos nesta norma experimental não implica sua aprovação

Tabela 3.3.4. Princípios e Métodos relativos à corrosão das armaduras

Princípio nº	Princípio e sua definição	Métodos baseados no Princípio
7 ↗RP℞	**Conservação ou restauração da passividade à corrosão.** Criação de condições químicas em que a superfície da armadura mantenha-se ou retorne à condição de passividade à corrosão.	Aumento do cobrimento da armadura com argamassa de cimento ou concreto adicional Substituição do concreto contaminado ou carbonatado Realcalinização eletroquímica do concreto carbonatado 1) Realcalinização do concreto carbonatado por difusão Extração eletroquímica dos íons cloreto 1)
8 ↗IR℞	**Aumento da resistividade.** Aumento da resistividade elétrica do concreto.	Limitação do teor de umidade por tratamentos superficiais, revestimentos ou proteções
9 ↗CC℞	**Controle catódico.** Criação de condições para que as áreas potencialmente catódicas da armadura impossibilitem uma reação anódica.	Limitação do teor de oxigênio (no cátodo) por saturação ou revestimento superficial 2)
10 ↗CP℞	**Proteção catódica**	Aplicação de um potencial elétrico 1)
11 ↗CA℞	**Controle das áreas anódicas.** Criação de condições para que as áreas potencialmente anódicas da armadura impossibilitem uma reação de corrosão.	Pintura da armadura com revestimentos contendo pigmentos ativos Pintura da armadura com revestimentos formadores de barreira Aplicação de inhibidores no concreto 1)2)

1) Estes métodos podem requerer o uso de produtos e sistemas não cobertos pelas normas da série EN 1504

2) A inclusão dos métodos nesta norma experimental não implica sua aprovação

Uma vez definidas as anomalias em uma estrutura, o método de reparo não costuma ser único, mas na maioria dos casos podem-se apresentar diversas alternativas, sendo necessário definir alguns critérios para a seleção, em função das condições de contorno do problema, e esses problemas podem afetar tanto o concreto como a armadura. É assim que está estabelecido na citada norma espanhola UNE-ENV 1504-9, que diferencia defeitos do concreto de corrosão de armaduras, definindo diferentes princípios, tal como se mostra nas tabelas 3.3.3 e 3.3.4 a seguir. Nelas pode ser apreciado que para cada princípio são estabelecidos diferentes métodos de intervenção. Os princípios relacionam-se aos riscos de danos futuros na estrutura ou danos já existentes.

Uma vez definida a técnica de reparo empregada e qualquer que seja esta, a mesma deve cumprir uma série de etapas comuns a todas elas. Assim previamente à intervenção propriamente dita é necessário:

- *Identificar* a região de reparo.
- *Eliminar*, se for o caso, tal região ou parte da mesma.
- *Preparar* a superfície ou região para intervenção posterior.

Pois bem, estas intervenções prévias não são independentes da técnica de reparo que será empregada, e deverá existir uma boa conexão entre estas etapas.

Na intervenção de reparos, deve ser rigoroso o cumprimento das prescrições técnicas previamente definidas no projeto de reparo. Mesmo assim, nesta etapa deve existir um sistema racional de busca da qualidade requerida mediante pontos de controle específicos. Se em geral o setor da construção é um setor pouco industrializado (e industrializável), quando se trata de reparos, o componente «artesanal» aumenta de certa forma; por exemplo, não é fácil separar a injeção de fissuras das pessoas que a executam (embora existam alguns métodos mais automatizados), e conseqüentemente o conhecimento do pessoal que executa a operação passa a ter grande importância no processo. Isto também acontece na técnica de projeção, quando é realizada manualmente por um operário.

Uma vez terminada a intervenção, deve-se em primeiro lugar verificar a condição da mesma com relação às certificações estabelecidas em contrato entre o proprietário e o construtor, assim como do ponto de vista técnico deverá ser estabelecida uma referência de desempenho para posterior manutenção. Esta referência, que se pode considerar como o «ponto ou estado zero[1]», entende-se como fundamental no momento de estabelecer responsabilidades sobre o desempenho futuro. Nesta verificação, podem ser empregados sobre a mesma estrutura os mesmos ensaios não destrutivos ou semidestrutivos utilizados no diagnóstico. Quanto a esta verificação, não apenas deve ser estabelecido como será realizada, mas também deverão ser estabelecidas as tolerâncias nas medições realizadas, fugindo-se dos sistemas pouco confiáveis que conduzem a grandes dispersões.

Convém, uma vez terminada a intervenção, fazer um levantamento da mesma. Definir o ponto ou estado zero.

Por último, considera-se necessária a existência de um acompanhamento ou monitoramento da recuperação, com a elaboração de informes periódicos sobre a condição da estrutura. Tais informes, cuja freqüência de elaboração será estabelecida em cada caso, devem ficar tanto com a empreiteira quanto com o projetista, caso estes sejam empresas diferentes.

Para a manutenção, é necessário haver condições de acesso para a inspeção externa e interna da estrutura. Isto deverá ser levado em consideração já na ocasião de projeto, especificando-se os meios para a inspeção.

Critérios de seleção

Os critérios de seleção da técnica de reparo podem obedecer a diferentes fatores, alguns dos quais são resumidos a seguir:

- **Características da anomalia**. Refere-se a se o dano tem um caráter linear (fissuras), superficial (áreas tipo laje) ou volumétrico (elementos maciços).

- **Características da anomalia**. Refere-se a se o dano tem um caráter linear (fissuras), superficial (áreas tipo laje) ou volumétrico (elementos maciços).
- **Urgência do reparo**. Em caso de necessidade urgente de recuperação, deve ser prioritária a busca de uma resposta rápida e satisfatória para o problema levantado em relação a soluções ótimas tecnicamente, porém de realização mais lenta.
- **Acesso à região de reparo**. Diante um mesmo tipo de dano, a condição da região de reparo na estrutura (submersa, de difícil acesso, etc.) condiciona a técnica de reparo. Um exemplo claro neste sentido é o caso da execução do reparo de uma fissura em condições acessíveis ou debaixo d'água, como é o caso de uma barragem onde, por razões diversas, não é possível rebaixar o nível d'água.
- **Material empregado**. No reparo de um mesmo problema podem ser empregados diferentes materiais que requerem técnicas diferentes (impregnação, imprimação, etc.).
- **Idoneidade técnica da empresa que executará a recuperação**. Isto significa que deve-se avaliar não apenas as empresas disponíveis, mas também a capacitação técnica das pessoas, além da metodologia de trabalho dos integrantes da empresa. A experiência positiva da empresa em trabalhos similares anteriores é um fator a levar em conta.
- **Aspectos econômicos**. Nos mesmos é preciso considerar os custos totais, quer dizer, somar o fator tempo (durabilidade) aos custos iniciais, avaliando assim os riscos do fracasso da recuperação e os custos imputáveis neste caso (políticos, sociais, etc.).

A estes critérios é necessário acrescentar outros fatores que, ainda que não costumem ser determinantes na maioria dos casos, nem por isso deveriam ser esquecidos sistematicamente. Neste grupo poderiam citar-se: o grau de contaminação direta do meio ou da água e os aspectos estéticos no acabamento do reparo.

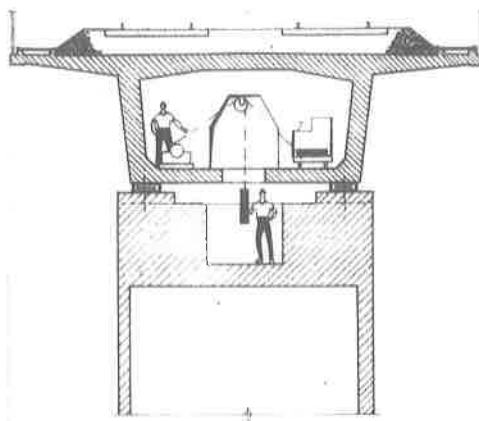
[1]N.T.: Que pode corresponder ao **limite crítico de aceitação** mostrado na figura 2.1.1 do Capítulo 2.

Na Tabela 3.3.5 é apresentado um resumo do exposto, onde são mostrados os diferentes materiais empregados em reparos, associados à técnica de reparo empregada. A tabela, complementada com as tabelas anteriores, possibilita uma visão ampla das possibilidades no campo da recuperação estrutural.

Tabela 3.3.5. Materiais para reparo associados à técnica empregada

Material - Técnica	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Concreto normal	X	X						
Concreto com fibras de aço	X		X					
Concreto projetado			X					
Concreto de alta resistência/desempenho	X							
Armadura ativa	X							Ancoragem
Argamassa/concreto modif. polímero	X							
Argamassa resina epóxi/poliéster	X							
Resinas epóxi				X				
Imprimação com resina epóxi						X		
SBR e copolímero de borracha e materiais acrílicos				X		X		
Espuma de poliuretano				X				
Argamassa de cimento e areia	X		X	X				
Sistemas poliméricos ou outro tipo de selamento de superficies							X	
Mantas plásticas					X			
Mantas betumi. no canteiro de obras			X			X		

(1) Convencional (3) Projeção (5) Uso de materiais industrializados (7) Impregnação
(2) *Prepack* (4) Injeção (6) Imprimação (8) Outras

· Referências bibliográficas

Aguado, A., Agulló, L. y Fernández Cánovas, M. (1993). *«Metodología en el diagnóstico de daños en obras hidráulicas de hormigón y en las actuaciones derivadas»*. II Congreso Iberoamericano de Patología de la Construcción y IV de Control de Calidad. Octubre 1993. Barquisímetro (Venezuela).

Aguado, A. y Salla, J.M. (1987). *«Los hormigones con polímeros en la construcción». Propiedades y aplicaciones»*. Informes de la Construcción, nº 389. 1987.

Aguado, A., Salla, J.M. y Martínez, A. (1985). *«Utilización de los hormigones de polímeros en reparación de estructuras»*. 1er Congreso de Patología en la Edificación. C.O.A.C. Marzo 1985. Barcelona.

Allen, R.T.L. and Edwards, S.C. (1987).*»Repair of Concrete Structures»*. Ed. Blackie & Sons Limited Glasgow.

Fernández Cánovas, M. (1981).*»Las resinas epoxi en la construcción»*. 2ª Edición. Instituto Eduardo Torroja. Madrid.

Sasse, H.R. and Fiebrich, M. (1983).*»Bonding of polymer materials to concrete»*. Rev. Materiaux et Constructions. No. 94. Vol. 16. Juillet-August.

Shaw, J.D.N. (1987).*»Polymers for concrete repair»*. Chapter 4 in *«Repair of Concrete Structures»*. Allen, R.T.L. and Edward, S.C. Ed. Blackie & Sons Limited. Glasgow.

Anexo 1 Relação de Normas espanholas EN 1504

EN 1504-1 *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 1: Definiciones*

EN 1504-2 *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 2: Sistemas para la protección superficial*

EN 1504-3 *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 3: Reparación estructural y no estructural*

EN 1504-4 *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 4: Unión estructural*

EN 1504-5 *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 5: Inyección del hormigón*

EN 1504-6 *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 6: Productos y sistemas para anclaje y para relleno de huecos exteriores*

EN 1504-7 *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 7: Prevención de la corrosión de las armaduras*

EN 1504-8 *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 8: Control de la calidad y evaluación de la conformidad*

EN 1504-9 *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 9: Principios generales para el uso de productos y sistemas*

EN 1504-10 *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 10: Aplicación de los productos y sistemas y control de calidad de los productos*

A2.1 Definição da região de reparo

Antes de proceder ao preparo da região de intervenção, é necessário conhecer seu alcance com precisão, e para isto a região de reparo deve ser definida. A importância deste ponto é grande tanto nos resultados da intervenção quanto no custo econômico da mesma. Isto é conseqüência de que uma definição mal feita poderia-nos levar a aceitar como boas regiões que não o são, o que teria repercussão sobre o resultado final, ou mesmo a atuar sobre regiões que, sendo boas, desqualificaríamos e conseqüentemente faríamos seu reparo, com um conseqüente aumento nos custos.

Para a definição prática da região de reparo, podemos-nos deparar, conforme mostra a figura A2.1.1, com duas situações:

- A região está já definida e descrita no projeto de reparo ou reforço, o que significa que precisamos apenas locar e marcar tal região na própria estrutura.
- A região não está definida, o que implica fazer um estudo de campo para determinar o alcance da região, tanto em extensão quanto em profundidade (em relação a espessuras).

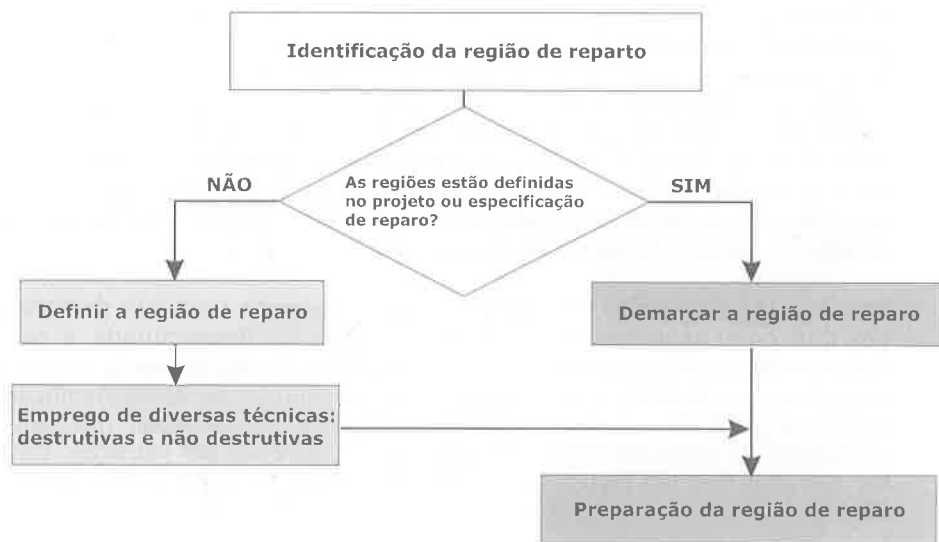



Figura A2.1.1. Diagrama de fluxo para a identificação da região de reparo

Para definir o alcance da região de intervenção podem ser empregadas diversas técnicas destrutivas ou não destrutivas e sempre, evidentemente, a inspeção visual.

A2.2 *Preparo da região de reparo*

Tanto os materiais quanto as técnicas de reparo, em geral, podem também ser empregados em construções novas, embora exista uma diferença significativa entre ambas as situações. Esta diferença situa-se no material suporte sobre o qual se aplicará o novo material, que na recuperação será o concreto existente, enquanto que no caso de obra nova será o material das fôrmas. Isto ressalta a importância que adquire o suporte tanto na caracterização das propriedades do material de reparo quanto na técnica empregada na intervenção. Deste modo, a preparação da região de intervenção requer a identificação prévia da mesma e uma atuação sobre o suporte ou substrato.

O preparo do substrato (especialmente no caso de danos superficiais e fissuras) baseia-se em uma metodologia com etapas comuns praticamente em todos os casos. Estas etapas são:

- Definição da região de reparo
- Preparo do substrato
- Limpeza do substrato

Por **definição da região de reparo** entende-se a delimitação da região na superfície (independentemente da inclinação da mesma) sobre a qual atuaremos. A região de reparo não coincide rigorosamente com a região danificada (sendo maior que esta, no caso de danos superficiais). A diferença situa-se, por um lado, na necessidade de buscar um substrato de concreto compatível mecanicamente com as características do novo material de reparo e, por outro lado, na compatibilidade das características do material com a geometria da região de reparo. No caso de não se dispor de meios precisos de diagnóstico, pode-se definir esta região a partir de uma inspeção visual que delimite as áreas mais afetadas, e dar uma margem de segurança a critério do técnico responsável da atuação.

Para ilustrar esta idéia, na figura A2.1.2 é mostrada uma laje de concreto em que com base em estudos apropriados foi determinada a região deteriorada (parte esquerda da figura A2.2.1). A região sendo preparada para o reparo logicamente deverá incluir no mínimo as áreas danificadas, sendo no geral de extensão maior que estas, a fim de evitar (ou reduzir) problemas de caráter técnico, por exemplo, fissuração por retração. Devem ser evitados ângulos agudos, tal como mostrado na parte direita da figura A2.2.1.

A delimitação da região sobre a qual atuar é geralmente feita com disco de corte, tanto para demarcar o perímetro do reparo (ver figura A2.2.1) quanto para definir as bordas ou lábios da fissura (em função do material de injeção). No caso de não se dispor de disco de corte, poderão ser utilizados outros sistemas menos precisos, especialmente no caso de superfícies, cmo o martelete pneumático.

A profundidade deste corte deverá ser conforme o tipo de reparo a ser feito, e as características dos materiais empregados no mesmo. Assim, se o reparo for realizado com argamassa ou microconcreto de cimento Portland, a profundidade mínima estará entre 25 a 30 mm, enquanto que se forem empregadas argamassas modificadas com resinas sintéticas, a profundidade será de cerca de 15 mm, ou ainda menor no caso de utilizar-se apenas resinas. No caso de obras de concreto armado, o tratamento costuma aprofundar-se até um plano posterior ao plano das armaduras, com o objetivo de deixar estas em condições de serem tratadas.

Com o **preparo do substrato** pretende-se atingir um substrato de concreto de bom desempenho mecânico, a fim de conseguir uma aderência satisfatória entre o concreto antigo e o material utilizado no reparo. Na execução podem ser empregadas técnicas diversas, tais como: escovamento manual e mecânico, jato de areia (abrasivo), ar ou água sob pressão, apicoamento manual (ponteiro) ou com martelo pneumático, escarificação mecânica, ataque ácido (pouco freqüente), etc. Uma descrição de cada uma das técnicas mais usuais pode ser vista no Capítulo 5.

Na etapa de preparação interessa remover da superfície do concreto quaisquer agregados mal aderidos, e também interessa deixar a superfície com rugosidade adequada para favorecer os mecanismos de aderência (maior superfície de contato) e o fenômeno do travamento mecânico, que colabora na resistência às tensões tangenciais que eventualmente aparecem na superfície de contato.

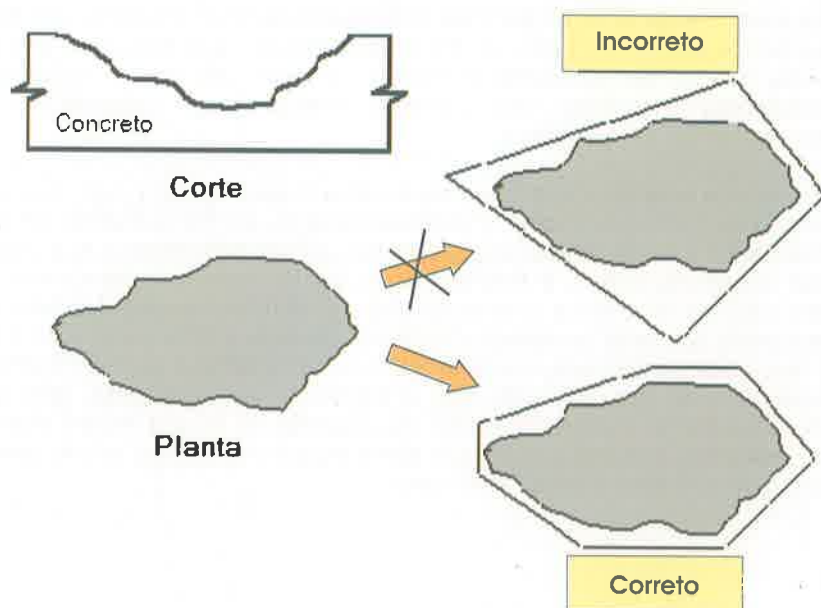



Figura A2.2.1. Soluções para regiões de reparo associadas às características dos materiais.

Quando se trata de abrir fissuras ou juntas, os cortes devem ser executados de forma que o corte seja retangular ou na forma de «cauda de pássaro»[1]. Para isto é recomendável utilizar o disco de corte (radial), tal como já foi comentado.

A **limpeza do substrato** é realizada após o término da etapa anterior. O objetivo da mesma é eliminar os elementos estranhos aderidos (por exemplo, lama ou sujeira de pisadas), detritos e pó formado na etapa anterior. Esta etapa é absolutamente necessária, já que incide significativamente sobre a aderência e conseqüentemente sobre o resultado final.

Para a seleção dos meios a empregar nesta etapa, é preciso levar em conta as características dos materiais de reparo, senão poderão resultar em fracasso, como por exemplo se forem empregadas determinadas resinas não compatíveis com água e se a superfície de contato for deixada úmida. Entre os métodos mais empregados encontram-se: jato de ar, hidrojateamento seguido, em alguns casos, de secagem com ar comprimido seco ou queima controlada; também pode-se varrer e aspirar a sujeira.

O alcance da limpeza do substrato também chega até as armaduras, no caso de concreto armado e quando estas se localizam na região de reparo. A primeira limpeza é a eliminação dos restos de elementos aderidos na armadura ou, se esta encontra-se oxidada, a limpeza da capa de óxido. Para isto, costumam ser empregadas as mesmas técnicas que já foram descritas anteriormente.

Mas este nível de atuação pode ser insuficiente para as condições de aderência requeridas posteriormente. Se for preciso maior rigor, isto é uma **limpeza a fundo**, podem ser utilizados solventes voláteis, tais como: tricloroetileno, tetracloreto de carbono, xilol, e outros, seguido de um tratamento abrasivo (escovamento, jateamento).

Mesmo que a aderência entre o concreto e o aço seja boa, em intervenções de reparo, tanto por razões mecânicas quanto de tranqüilidade do usuário em relação à durabilidade, costumam-se utilizar tratamentos que melhoram essa aderência. Assim, é freqüente utilizar um adesivo sintético compatível com o aço, o concreto e o material utilizado na intervenção. Nestes casos, é necessário conhecer as características do produto adesivo que será utilizado, já que pode perder suas características com o tempo, sofrer os efeitos da radiação solar, etc. Por tudo isto, é freqüente que a limpeza, aplicação do adesivo e fornecimento comercial do material de reparo sejam etapas que são realizadas em seguida em um curto período de tempo, o que requer um bom planejamento destas atividades.

---

[1]N.T.: O corte retangular é o usual no meio técnico brasileiro.

CAPÍTULO 04

Materiais e Sistemas para Recuperação Estrutural

CAPÍTULO 04

Materiais e Sistemas para Recuperação Estrutural

Autores
Oladis Trocónis de Rincón
Paulo Helene

Andreina Vargas
Angel Espinoza
Daniel Contreras
Daniel Prado
Isabel Hernández
José Bravo
Miguel Sánchez
Rafael Fernández
Rafael Urdaneta
Sebastián Delgado

Introdução

Este capítulo tem o objetivo de dar uma visão da gama de materiais e sistemas disponíveis para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. Dentro deste grupo, alguns materiais foram desenvolvidos para uso conjugado com outros, formando um sistema de reparo ou proteção, como por exemplo certos *primers* que atuam como ponte de aderência ou proteção de armaduras e argamassas de rejunte.

O número de materiais disponíveis é muito grande e constantemente são desenvolvidos e lançados novos produtos em um mercado francamente em expansão que, segundo MAILVAGANAM (1991), nos últimos 20 anos cresceu, nos Estados Unidos, a uma taxa de 30 a 50 % maior que o crescimento da Construção Civil nesse mesmo período.

Na primeira parte deste capítulo, apresenta-se uma proposta de classificação e organização dos materiais e sistemas destinados à proteção, reparo e reforço de estruturas de concreto. Não há a pretensão de relacionar os inúmeros materiais disponíveis no mercado. Cabe registrar também que não há ainda uma terminologia normalizada ou adotada pelo setor, de tal modo que permita a identificação imediata da natureza e características principais de um produto a partir de seu nome comercial.

Por outro lado, o item 4.18 deste capítulo foi concebido como um guia útil contendo uma série de tabelas que ajudarão o especialista a realizar a melhor decisão possível na seleção de um material/sistema adequado a cada situação de reparo em particular. A publicação do International Concrete Repair Institute ICRI 037333 *Guide for Selecting and Specifying Materials for Repair of Concrete Surfaces* (Guia para a Seleção e Especificação de Materiais para Reparo de Superfícies de Concreto) permite um aprofundamento no tema específico da seleção de materiais de reparo.

4.1 Concreto

O concreto de cimento Portland é o material tradicionalmente usado em reparos e reforços. Na grande maioria dos casos, requer um traço especialmente formulado que altere para melhor algumas de suas características naturais. Pode ser necessário obter altas resistências iniciais, ausência de retração de secagem, leves e controladas expansões, elevada aderência ao substrato, baixa permeabilidade e outras propriedades normalmente obtidas à custa do emprego de aditivos e adições tais como plastificantes, redutores de água, impermeabilizantes, escória de alto forno, cinza volante, microssílica e, via de regra, baixa relação água/cimento.

Essas exigências para a obtenção de elevado desempenho reduzem na prática a viabilidade do emprego direto de concreto dosado em canteiro para uso em reparos e reforços, salvo em locais que envolvam grandes volumes e onde haja assistência técnica e orientação permanente de pessoal especializado em tecnologia do concreto.

Existem no mercado microconcretos e argamassas industrializados já adequadamente formulados para uso em reparos e reforços de acordo com o tipo de problema patológico em questão, de acordo com as características da região a ser reparada, vertical ou horizontal, por exemplo, e resistentes à agressividade do ambiente. Estão incluídos neste grupo os concretos projetados, tanto via seca quanto via úmida. Normalmente utilizam agregados graúdos de dimensão máxima característica igual a 9 mm, o que na realidade os classificaria como microconcretos ou argamassas projetados.

Os materiais avançados formulados à base de resinas e combinações de resinas com outros materiais – fibras, fíleres, etc. – estabeleceram-se como uma resposta técnico-científica moderna às exigências de desempenho e durabilidade em contínua evolução no mundo todo, especialmente nas situações em que o concreto precisa ser modificado ou mesmo é inadequado.

4.2 Aditivos

São produtos especialmente formulados para melhorar algumas propriedades dos concretos e argamassas, tanto no estado fresco quanto no endurecido. Considera-se como aditivo todo produto adicionado até o máximo de 5 % em relação à massa de cimento. Acima dessa porcentagem, deve ser considerado como adição e receber tratamento distinto.

Os aditivos normalmente são classificados segundo sua ação principal nos concretos e argamassas, sendo de maior interesse para reparos, reforços e proteção os aceleradores de pega e endurecimento, os retardadores, os redutores de água, ou plastificantes, e os expansores[1].

Os aditivos impermeabilizantes também podem ser usados, porém em geral reduzem muito as resistências mecânicas dos concretos, sendo mais recomendados para argamassas de proteção sem função estrutural.

4.3 Argamassas Poliméricas

São argamassas à base de cimento Portland modificadas com polímeros, com agregados de graduação adequada – geralmente com granulometria contínua, atendendo às curvas de Bolomey, ou granulometria descontínua, no caso de alta resistência à abrasão – formuladas especialmente com aditivos e adições que lhes conferem propriedades especiais. São também chamadas de argamassas base mineral, e o processo de endurecimento está baseado na reação dos grãos de cimento com a água de amassamento.

Em geral apresentam retração compensada e são tixotrópicas para uso em superfícies verticais e inclinadas.

Podem ser formuladas com resinas acrílicas do tipo metilmetacrilato ou estireno-butadieno, ou com resinas à base de PVA. Neste último caso, têm aplicações restritas devido à baixa resistência à umidade e à ação agressiva do ambiente. Algumas vezes estas argamassas poliméricas base cimento também são chamadas de argamassas com látex devido à similaridade de algumas das propriedades de tais resinas com as propriedades do material natural látex utilizado para a fabricação de borrachas.

---

[1]N.T.: A norma brasileira NBR 11768/1992, Aditivos para concreto de cimento portland, classifica os aditivos em tipo P, plastificante, R, retardador, A, acelerador, PR, plastificante acelerador, IAR, incorporador de ar, SP, superplastificante, SPR, superplastificante retardador e SPA, superplastificante acelerador.

4.4 Grautes Base Cimento

O graute é um material fluido e auto-adensável no estado recém-misturado, formulado para preencher cavidades e subseqüentemente tornar-se aderente, resistente e sem retração no estado endurecido.

Um graute base cimento é constituído por cimento Portland comum (CP I), composto (com adições, CP II) ou cimento de alta resistência inicial (CP V-ARI), agregados de granulometria adequada, aditivos expansores e aditivos superplastificantes.

Por suas características de alta fluidez, boa aderência, baixa retração e alta impermeabilidade, este tipo de graute é conveniente para reparos em locais de acesso difícil ou em casos de seções densamente armadas.

4.5 Argamassas e Grautes Orgânicos

São argamassas e grautes formulados com resinas orgânicas cuja aglomeração e resistência do conjunto é dada pelas reações de polimerização e endurecimento dos componentes das resinas, em ausência de água. O cimento Portland pode entrar na composição do produto como um agregado fino chamado fíler, completando a distribuição granulométrica e preenchendo os vazios da areia, porém atuando apenas como inerte.

Normalmente resultam argamassas e grautes com características de elevada resistência mecânica e química, apropriadas para ambientes altamente agressivos ou aqueles onde são exigidos alto desempenho dos reparos, reforços e pinturas de proteção. Em geral, são formulados para uso em pequenos volumes e espessuras, pois têm elevada aderência ao substrato e baixo módulo de deformação longitudinal, assim como deformação lenta superior à dos concretos e argamassas de cimento Portland.

São também chamadas de argamassas ou revestimentos anticorrosivos.

Os grautes de base orgânica podem ser formulados com resina praticamente pura quando se destinam ao preenchimento de fissuras, sendo chamados também de grautes para injeção de fissuras, tendo assim baixa viscosidade.

A resistência química de tais produtos pode ser avaliada pelo método da American Society for Testing and Materials, o ASTM C267 *Standard Test Method for Chemical Resistance of Mortars, Grouts and Monolithic Surfacings* (Método Padrão para a Determinação da Resistência Química de Argamassas, Grautes e Revestimentos Monolíticos).

4.5.1 Argamassas base epóxi

Os tipos mais comuns de argamassas e grautes epóxi são geralmente fornecidos em dois ou três componentes: a resina (epóxi), o endurecedor (amina e/ou poliamidas) e agregados selecionados.

Recomenda-se que atendam às seguintes normas britânica, BSI CP 3003:Part 5:1966 *Epoxide resins* (Resinas epóxi), e americanas ASTM C395 *Standard Specification for Chemical-Resistant Resin Mortars* (Especificação Padrão para Argamassas à Base de Resinas Resistentes a Produtos Químicos), ASTM C399 *Standard Practice for Use of Chemical-Resistant Resin Mortars* (Prática Recomendada para Argamassas à Base de Resinas Resistentes a Produtos Químicos) e ASTM C658 *Standard Specification for Resin Chemical-Resistant Grouts* (Especificação Padrão para Grautes à Base de Resinas Resistentes a Produtos Químicos).

Estas argamassas possuem excelente resistência a ácidos não oxidantes e álcalis, e também boa resistência a alguns solventes orgânicos. São atacadas por ácidos oxidantes, alvejantes e ambientes muito alcalinos. A resistência térmica não supera os 70 °C.

Toleram pH na faixa de 2,0 a 10,0. O epóxi apresenta ótimas propriedades físicas e mecânicas, além de muito boa aderência a vários tipos de superfícies.

4.5.2 Argamassas de base fenólica

As argamassas de base fenólica constituem-se de aglomerantes de resina fenolformaldeído com fíleres (sílica, carbono, coque pulverizado ou barita) contendo um catalisador ácido.

Apresentam boa resistência à maioria dos ácidos minerais e soluções de sais inorgânicos e soluções levemente oxidantes, mas são rapidamente atacadas por agentes oxidantes fortes como os ácidos nítrico, crômico e sulfúrico concentrado. São satisfatórias em soluções levemente alcalinas e em muitos solventes, porém têm pouca resistência a álcalis fortes.

A resistência térmica vai até os 175 °C, e toleram pH de 0,7 a 9,0. O tempo de uso (*pot life*[1]) deste tipo de argamassa é curto, e elas precisam ser mantidas refrigeradas até o instante de uso.

---

[1]N.T.: *Pot life*, vida útil da mistura, é o prazo disponível para a aplicação do produto após sua mistura. Também conhecido como tempo de uso ou manuseio.

4.5.3 Argamassas base poliéster e base estervinílica

As argamassas base poliéster e base estervinílica são produtos tricomponentes constituídos de resina em solução, catalisador e fíleres inertes com modificadores de formulação.

Estes tipos de argamassas têm excelente resistência química e mecânica e ótima resistência à maioria dos ácidos. Não resistem a produtos cáusticos e alvejantes. Toleram pH na faixa de 0,9 a 13,0. As argamassas base estervinílica têm maior resistência química e térmica (até 115 °C) que as de base epóxi.

4.5.4 Argamassas base furânica

As argamassas de base furânica são sistemas constituídos por resina líquida, catalisador e fíler (sílica, carbono, barita ou coque pulverizado).

Estas argamassas são resistentes a ácidos não oxidantes, álcalis, muitos solventes, sais, gases, óleos, graxas e detergentes. Podem ser usadas em temperaturas até 200 °C e numa faixa de pH de 1,0 a 13,0. O calor acelera a cura do endurecedor e o frio a retarda. Para a análise e especificação das propriedades das argamassas base orgânica, em geral, podem ser utilizadas as mesmas normas ASTM e BSI já citadas para o epóxi: ASTM C267, ASTM C395, ASTM C399, ASTM C658 e BSI CP 3003: Part 5.

4.5.5 Argamassas de base Uretânicas

São de 3 componentes, formulados com uretano de origem vegetal para proteções em pisos contra ações mecânicas, térmicas e químicas. O seu uso principalmente é para indústrias alimentícias, papel e celulose , bebidas, baterias, galvanização e impressão, permitindo liberação rápida das áreas (12 hr).

4.6 Revestimentos Monolíticos e Sistemas de Polímeros Reforçados com Fibras-PRF

Os sistemas de polímeros ou plásticos reforçados com fibras, denominados **PRF**[1], costumam ser, no caso de sistemas de recuperação de estruturas de concreto, materiais compósitos de fibras inorgânicas em matriz de resinas orgânicas. As fibras de maior aplicação hoje em dia são as de carbono, mas há também fibras de aramida, vidro, poliéster e aço. As resinas mais utilizadas são de base epóxi, endurecido a frio ou a quente, e os sistemas podem ser do tipo barras pré-fabricadas similares a chapas metálicas, ou sistemas de mantas flexíveis que permitem aplicação de várias camadas, ganhando em capacidade portante. Sempre que as fibras estão dispostas em uma única direção, o sistema é chamado de **laminado**. Quando a direção das fibras é ortogonal (bidirecional), é chamado de **tecido** ou **manta**. Apesar de ser recente, trata-se de um campo muito desenvolvido da engenharia de recuperação estrutural.

Com relação a sistemas específicos de aplicação em estruturas de concreto, recomenda-se a consulta aos endereços da Internet www.frp.at e www.mbt.com, sistemas **MBrace**[1], para um aprofundamento nos aspectos técnicos e práticos dos sistemas.

Os revestimentos monolíticos, também chamados de **laminados**, são constituídos de um reforço na forma de manta, tecido, flocos ou fibras, geralmente de vidro, poliéster ou náilon, dispostos em uma ou mais camadas embebidas por resinas base estervinílica, epóxi, poliéster, furânica ou fenólica.

As resinas representam a barreira química do revestimento. Os reforços, por ficarem impregnados com a resina, auxiliam a formação de uma barreira química mais rica e possibilitam a aplicação de camadas mais espessas de revestimento. Além disso, os reforços auxiliam na redução da retração durante a cura, porém reduzem a flexibilidade do sistema. As cargas minerais possuem papel importante na redução do coeficiente de dilatação térmica, na redução da retração durante a cura, na adequação da consistência, além de possibilitar o aumento e o controle da espessura do laminado, reduzindo o seu custo final.

Trata-se de um material de grande potencial no setor de indústrias de celulose e papel, por exemplo, cujo emprego vem aumentando e diversificando-se à medida que se ampliam os conhecimentos, a experiência e a gama de produtos oferecidos no mercado. Têm também a vantagem de fácil manutenção e identificação e localização de eventuais problemas patológicos.

Como especificação padrão, recomenda-se a consulta à norma *ASTM C722 Standard Specification for Chemical-Resistant Resin Monolithic Surfacings* (Especificação Padrão para Revestimentos Monolíticos à Base de Resinas Resistentes a Produtos Químicos), tipo A e tipo B. Para o correto emprego, usar a ASTM C811 *Standard Practice for Surface Preparation of Concrete for Application of Chemical-Resistant Resin Monolithic Surfacings* (Prática Recomendada para o Preparo da Superfície do Concreto para a Aplicação de Revestimentos Monolíticos à Base de Resinas Resistentes a Produtos Químicos).

4.7 Barras de Material Composto Reforçadas com Fibras de FRP

As barras de material composto são fabricadas com fibras FRP (Fiber Reinforced Polymer), estes reforços podem ser de GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer, Fibra de Vidrio), CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer, Fibra de Carbono) o AFRP (Aramid Fiber Reinforced Polymer, Fibras Arámidas); Estas fibras são banhadas por uma matriz polimérica, que pode ser de resinas de Poliéster, Vinylester ou Epóxicas, dependendo da forma que queiramos dar-lhe. Para conformar as barras de material Composto, os principais processos produtivos são Pultrução, Pultrução Híbrida e Pultrução Híbrida por extrução.

As barras de material composto são usadas para reforçar concretos, igual as barras de aço, mais com a grande diferenca de que estão especialmente desenhadas para

resistir e durar, por muito tempo, em ambientes de alta corrosão dando uma solução efetiva e válida a este grave problema. Não se deterioram, nem degradam os concretos, não são afetadas pelos iones cloretos, ácidos nem pela alta alcalinidade.

---

[1]N.T.: Em inglês, **FRP**- *fiber reinforced polymers*.
[1]N.T.: Recomenda-se também a leitura do livro "Reforço de Estruturas de Concreto Armado Com Fibras de Carbono", de Ari de Paula Machado, publicado pela editora Pini.

Os formatos que existem na atualidade para sua comercialização são: em barras, malhas , cabos, entre outros.

As propriedades mecânicas das barras de material composto para o reforço de concretos, estão dadas principalmente pela: orientação das fibras, porcentagem fibra/matriz, comprimento, formas para aumentar a aderência com o concreto, propriedades mecânicas e químicas da matriz polimérica. Como pode-se apreciar na tabela a seguir, as propriedades caraterísticas estão determinadas na direção longitudinal, que é de onde se requerem as armaduras para concreto.

Principais caraterísticas

1. Barras de GFRP, CFRP y AFRP tem uma alta resistência a tração, maior que o aço; e uma elevada relação resistencia/peso.
2. Baixo peso (um quarto que o aço); transporte e mão de obra da instalação baratos.
3. Não se corroem; estes materiais compostos conferem uma proteção química e mecânica segura em toda a escala de pH. Em alta alcalinidade as fibras de AFRP y GFRP (Fibras de vidro tipo E), apresentam baixa resistência, mais com CFRP e com as novas GFRP (Fibras de vidro base basalto e tipo E livre de boro) se obtem resistências muito altas aos álcalis.
4. As de GFRP e AFRP não conduzem eletricidade; conferem uma excelente instalação eléctrica e térmica.
5. Excelente resistência a fadiga (CFRP, AFRP); bom comportamento frente a cargas cíclicas.
6. Boa resistência ao impacto; resistem cargas severas, de improviso e em pontos específicos.
7. As barras de GFRP, não possueim propriedades magnéticas e a frequência de radio
8. As barras e cabos de GFRP, são uma alternativa economicamente viável para solucionar o problema que causa a corrosão das armaduras de aço. Desde 1987 que vem sendo desenvolvido normas[1] standar nos institutos mais reconhecidos do mundo, para o cálculo e desenho com este tipo de barras de material composto.

4.8 Silicatação

Por silicatação da superfície do concreto entende-se uma série de procedimentos similares que visam tamponar os poros superficiais e endurecer

[1]1987: JSCE Committee on CFRM e CSCE Technical Committee.
1991: CSCE State of the Art Report, ACI440 e BRITE -EURAM Project.
1992: JSCE State-of the-Art Report
1993: EUROCRETE
1996: JSCE Design Recommendations e Draft EUROCRETE Design Guidelines -fib TG 9.3
1997: ConFibreCrete Network European Project
1998: CSCE Design Recommendations
1999: Instruct E document based in Eurocrete
2000: ACI 440.1R-01
2003: ACI 440.1R-03

as superfícies de concreto ou argamassa de piso e contrapiso, impermeabilizando-os. Podem também ser aplicados em superfícies verticais, impermeabilizando-as e protegendo-as. Os produtos seguintes, apresentados nos itens 4.8.1, 4.8.2 e 4.8.3, podem ser usados para a silicatação do concreto.

4.8.1 Metassilicato de sódio ou potássio

É um tratamento que consiste em espalhar uma solução de metassilicato de sódio e potássio diluídos sobre a superfície do concreto. Estes reagem com a cal, formando um gel de ácido silícico que contém grande quantidade de água. Este ácido obstrui os poros e, depois de seco, forma uma capa esmaltada de 1 a 2 mm de espessura. Geralmente, é encontrado na concentração comercial de 40 % e deve ser diluído na relação de 1 parte de silicato para 4 partes de água. Emprega-se de 2 a 4 demãos, sempre aguardando a secagem leve da demão anterior. O espalhamento geralmente é feito com escovas, rodos e vassouras. As primeiras demãos podem ser um pouco mais diluídas.

4.8.2 Tetrafluoreto de silício

É um tratamento onde a superfície do concreto é submetida à ação do tetrafluoreto de silício que, em reação com os silicatos e aluminatos hidratados, dá origem ao fluoreto de cálcio e aos hidratos de silício e alumina. Os hidratos obstruem os poros, enquanto que o fluoreto de cálcio, além de colaborar nessa obstrução, possui boa resistência química, formando uma camada superficial impermeável e protetora.

4.8.3 Fluossilicato de magnésio ou de zinco

Conhecidos também como endurecedores superficiais de piso.

São recomendáveis três demãos. A primeira na base de 1 kg de cristais de fluossilicato para 8 litros de água. A segunda e terceira demãos devem ter dosagem de 1 kg de cristais de fluossilicato para cada 4 litros de água potável. As demãos devem ser aplicadas com o auxílio de trinchas em superfícies verticais e rodos e vassouras em superfícies horizontais. Recomenda-se aguardar cerca de 3 horas ou mais entre demãos para garantir que haja adequada absorção, reação e secagem da demão anterior.

Estes tratamentos devem ser usados com cautela porque podem reduzir ou impedir a aderência de tintas e revestimentos posteriores, assim como não protegem a estrutura contra ataques químicos intensos.

4.9 ÓLEOS

Óleo de soja, óleo de peroba e certos ácidos como o linóico e oléico, que têm consistência oleosa, podem ser usados para a impermeabilização e proteção da superfície do concreto. Em geral, escurecem a superfície do concreto. O concreto deve ter idade superior a 14 dias e recomenda-se neutralizar previamente a sua superfície antes da aplicação, através do uso de solução composta de 2,4 kg de cloreto de zinco com 3,8 kg de ácido fosfórico em 100 litros de água potável. Aguardar secagem por 48 horas antes da aplicação dos óleos. Os óleos podem ser diluídos em querosene, recomendando-se pelo menos 2 demãos espaçadas de mais de 24 horas.

Como esta solução de neutralização é ácida, não é recomendável em estruturas de concreto protendido nem em casos de pequeño cobrimento da armadura. Assim como a silicatação, os óleos devem ser usados com cautela porque impedem a aderência de novos revestimentos e não protegem a estrutura contra ataques químicos intensos.

4.10 Vernizes e Hidrofugantes de Superfície

Denominam-se vernizes e hidrofugantes as pinturas aplicadas à superfície da estrutura de concreto destinadas a protegê-la e impermeabilizá-la, sem contudo alterar substancialmente seu aspecto. Normalmente têm maior aplicação nas estruturas e alvenarias aparentes, sem revestimento, e localizadas em superfícies verticais e horizontais internas, tais como tetos e coberturas. Não são recomendáveis para locais com solicitação mecânica e física forte, nem para locais submetidos à pressão de água, tais como reservatórios, canaletas e bacias de contenção.
Têm excelente aplicação em fachadas, estruturas externas ou internas em edifícios comerciais, escritórios, galpões e depósitos.

Podem formar um filme superficial contínuo, tal como os vernizes poliuretanos alifáticos e os vernizes epóxi, ambos bicomponentes, e os vernizes de base acrílica (metilmetacrilato ou estireno-butadieno), monocomponentes. Não devem ser utilizados vernizes tipo látex de PVA, base água, pois têm baixíssima durabilidade, reduzida aderência e se degradam rapidamente, amarelecendo e destacando-se, quando em presença de agentes atmosféricos agressivos (industriais).

Em certas condições pode ser mais conveniente utilizar hidrofugantes de superfície que são capazes de penetrar alguns milímetros no concreto e, por um mecanismo de repelência eletrostática (são produtos hidrófobos), impedem a penetração das moléculas de água e das substâncias agressivas que eventualmente estejam dissolvidas nessa água, como por exemplo a água de chuva em atmosferas industriais. Os hidrofugantes são todos de base silicone, e podem ser dos seguintes tipos: resina de silicone, silanos ou siloxanos oligoméricos. Todos são monocomponentes dispersos em solvente. Não se recomenda o uso de siliconatos de base água, pois têm baixíssima durabilidade e conferem pouca ou nenhuma proteção às armaduras submetidas a ambientes agressivos.

Estes produtos têm a vantagem sobre os produtos formadores de filme de permitir a livre circulação do vapor de água e com isso reduzir, na maioria dos casos, os riscos de condensação e formação de bolhas e bolor na superfície ou interior do componente estrutural, sob a película de verniz. Evidentemente, têm a desvantagem de não serem tão eficazes como barreira contínua aos agentes agressivos, quando comparados aos vernizes formadores de película. Existem no mercado sisemas de proteção que combinam os dois produtos, base silano/siloxano como primer e metilmetacrilato como verniz de acabamento e proteção, conciliando as vantagens de ambos.

Outras combinações de silanos especiais reativos e inibidores de corrosão orgânicos, apresentam uma boa performance. As pequenas moléculas desta combinação (chamadas de Dynasilan CIT produto da Degussa Chemicals), penetram e reagem com o substrato, hidrofugando o concreto. Esta molecula reage também com a camada de óxido das ferragens, inibindo a corrosão eletroquímica.

4.11 Tintas Orgânicas

Tintas são dispersões de pigmentos em aglutinantes que, quando aplicadas em finas camadas sobre uma superfície, sofrem um processo de secagem ou cura e endurecimento formando um filme sólido, aderente ao substrato e impermeável. O processo de aplicação é chamado «pintar» uma superfície, de tal forma que estes produtos são também conhecidos por pinturas.

São constituídas basicamente de resina, solvente, pigmento e aditivo. A resina é o componente mais importante da tinta, pois é ela que confere as propriedades de resistência, aderência, flexibilidade, impermeabilidade e brilho ao sistema.

Os pigmentos passam a ter papel importante nas tintas ou imprimações (fundos ou *primers*) quando se deseja uma proteção anticorrosiva, quer seja por barreira, quer por inibição química ou por proteção catódica.

As tintas orgânicas são também chamadas de revestimentos anticorrosivos ou pinturas de proteção de superfície, devido à elevada proteção química que conferem à estrutura. As tintas podem ser de diferentes naturezas, conforme os itens 4.11.1 a 4.11.5, a seguir.

4.11.1 Borracha clorada

Geralmente, deve constituir uma camada espessa de proteção para ser efetiva. Na película seca deve ter espessura superior a 0,25 mm, algumas vezes até 3 mm. Normalmente, deve ser aplicada sobre superfície de concreto seca e com idade superior a 2 meses. É muito sensível à ação do solvente e deve-se observar uma defasagem de pelo menos 24 horas entre demãos. Um mínimo de 2 demãos é necessário. Graxas e óleos de origem animal e solventes podem destruir a proteção desse revestimento, devendo ser evitado o seu emprego sempre que esse risco estiver presente.

4.11.2 Vinílicos

Os cloretos de polivinila, o acetato cloreto de polivinila e os cloretos de poliviniladene são utilizados no combate à corrosão das estruturas metálicas. Devido à elevada viscosidade dessas resinas, somente soluções com baixo teor de sólidos e pigmentos são encontradas. Recomenda-se um mínimo de 3 demãos, espaçadas de 3 horas, pelo menos, uma da outra. Não têm boa aderência ao concreto. As tintas base água tipo látex, como o acetato de polivinila-PVA, são usadas unicamente para fins decorativos. Não servem para proteção de estruturas em ambientes agressivos.

4.11.3 Uretanas

Existem diferentes tintas base uretana. As monocomponentes, que endurecem por secagem ou oxidação, não são recomendáveis para uso em superfícies de concreto como revestimentos protetores. As mais adequadas para concreto são os sistemas bicomponentes de poliuretano alifático cujo catalisador é o

poliol; são também as de maior resistência química, porém exigem conhecimentos e competência na aplicação porque são muito sensíveis ao mau preparo e deficiente limpeza do substrato. Têm o incoveniente de não tamponar poros de diâmetro superior a 1 mm, o que obriga a um pré-estucamento da superfície na maioria dos casos.

4.11.4 Epóxi

São sempre bicomponentes. Os mais adequados para concreto em ambientes agressivos úmidos são os sistemas que empregam poliamidas como catalisadores da reação de polimerização. Não são recomendáveis para serviços submersos, pois podem destacar-se do substrato. Também não devem ficar sujeitos à ação da atmosfera, pois se degradam sob a ação de ozona e raios ultravioleta. São os que têm melhor aderência ao concreto. Têm o inconveniente de não tamponar poros de diâmetro superior a 1 mm, o que obriga a um pré-estucamento da superfície na maioria dos casos.

4.11.5 Acrílicas

Podem ser mono o bicomponentes, base água ou base solvente.
Apresentam resistência à fotodegradação e retêm o brilho. Geralmente, as tintas dispersas em solvente exibem melhor desempenho que as dispersas em água.

Tintas acrílicas são usadas tanto na pintura de interiores quanto de exteriores. O metilmetacrilato é o produto de maior resistência contra a degradação por radiação solar. Por outro lado, o estireno-butadieno, também da família dos acrílicos, amarelece e perde o brilho rapidamente.

4.11.6 Poliuréia projetável

São bi componentes, projetável constituídas de poliuréia elastomérica. Possui excelente alongamento, resistência a abrasão, corrosão e compostos químicos, incluindo sulfato de hidrogênio, ácidos e solventes hidrocarbonados. Se aplica por aspersão e possui liberação para uso quase imediata.
São utilizadas onde se espera movimento dinâmico e térmico regular.

4.11.7 Metacrilato reativo

Base de PMMA – polimetilmetacrilato, são de cura ultra rápida, normalmente utilizado para pisos como proteção mecânica e química(ácidos orgânicos , inorgânicos e base).
A polimerização se inicia pela ação do peróxido de benzoila (iniciador) e da amina (ativador).

A grande vantagem deste sistema é a possibilidade de ser aplicado em ttemperatura até – 30 graus centígrados.
Outra grande utilidade é o uso no preenchimento de micro fissuras de pisos sem a necessidade de equipamentos injetores devido a sua viscosidade (lançamento por gravidade) .

4.12 Pinturas Betuminosas e de Alcatrão de Hulha Base Epóxi

As tintas betuminosas de alcatrão de hulha base epóxi (*coal-tar epoxy*) normalmente são aplicadas em duas ou mais demãos. A primeira, mais diluída, deve atuar como *primer*, assegurando a boa aderência ao substrato. As demais devem sempre ser aplicadas em direção ortogonal à anterior e somente quando a anterior se apresentar seca.

Emulsões não devem ser usadas, pois são permeáveis e pouco protetoras.

As pinturas com alcatrão de hulha base epóxi são classificadas em três tipos segundo o teor de epóxi, a saber: teores elevados, para obter espessura de película seca d» 0,38 mm, teores médios, para obter espessura de película seca de 0,40 mm até menos de 1 mm, e de baixos teores de resina, para espessuras de película seca iguais ou superiores a 1 mm.

4.13 Selantes

São materiais utilizados nas juntas de movimentação das estruturas de concreto, com o objetivo de impedir a passagem de líquidos, gases, vapor ou partículas sólidas para o interior da estrutura.

No momento em que são solicitados e se deformam, devem possuir características elásticas e de recuperação compatíveis com os esforços e deformações sofridos. Podem ser formulados a partir das mesmas resinas básicas usadas em tintas: acrílico, poliuretano, epóxi, betuminosa, etc.

A natureza química dos selantes, proveniente da resina básica de formação, é responsável pela resistência ao intemperismo e aos agentes agressivos, aderência ao substrato, deformabilidade e recuperação elástica.

Problemas freqüentes são observados com o uso destes materiais devido à não obediência ao projeto e à não observação de alguns cuidados básicos, tais como preparo e reforço da superfície lateral da junta, aplicação do *primer*, geralmente de base epóxi, nessa superfície do concreto e colocação de um agente que impeça a aderência do selante ao fundo da junta.

4.14 Adesivos e Primers

São materiais usados como ponte de aderência entre dois outros, sendo em geral um deles a superfície do concreto velho, também chamada de substrato. Promovem melhoria substancial de aderência entre os diversos materiais, tais como concreto velho/concreto novo, aço/concreto novo, concreto velho/ argamassa base poliéster, etc. Os *primers*, além de atuarem como ponte de aderência, podem atuar como protetores do substrato, ou seja parte de um sistema de proteção de armaduras contra corrosão, por exemplo.

Os adesivos e *primers* mais empregados são de base epóxi e os chamados látex, ou seja, base acrílica ou base acetato de polivinila ou base estireno-butadieno hidrossolúveis. Os de base polivinila-PVA em geral são

reemulsionáveis, o que os torna desaconselháveis para uso em locais úmidos ou reparos e reforços de importância. Os de base epóxi têm desempenho estrutural superior aos demais, porém têm o inconveniente de exigirem substrato seco, o que nem sempre é viável em obras.

4.15 Produtos para Ancoragem e Emendas de Barras de Aço

Os produtos para ancoragem são, em geral, de base polimérica,predominantemente poliéster bicomponente, ou de base cimento, ambos de pega rápida e ligeiramente expansivos. São disponíveis para mistura *in loco*, no canteiro, ou na forma de cartuchos prontos.

Para emendas de barras de aço, há um tipo de emenda padrão que consiste de uma luva de aço, seção de um tubo, na qual são introduzidas - posicionadas topo a topo - as duas barras a emendar. Através de prensagem hidráulica, a luva deforma-se contra as barras, ancorando-se em suas nervuras ou mossas. Este processo permite emendar barras tipo CA-50 nervuradas, com bitolas de 12,5 até 40,0 mm e utilizar a capacidade total de resistência mecânica das barras emendadas.

Existem ainda tipos especiais de emenda mecânica como, por exemplo, a que consiste de duas luvas padrão unidas cada uma a uma barra de aço e que se unem através de um pino de ligação para formar uma única barra.

As emendas mecânicas tipo CCL, efetuadas por processo de prensagem, satisfazem o disposto nas normas de concreto armado.

4.16 Concretos e Argamassas de Pega/Endurecimento Rápido

Inúmeras vezes é necessário realizar reparos rápidos que permitam a retomada da produção em indústrias ou a liberação do tráfego, por exemplo. Os produtos podem ser argamassas formuladas com cimentos aluminosos que apresentam pega rápida e resistências elevadas nas primeiras idades. Têm o inconveniente de com o tempo perderem parte da resistência obtida inicialmente devido às transformações morfológicas dos cristais de aluminatos.

Este produtos podem também ser formulados com base na reação do magnésio com fosfatos que, assim como o anterior, desenvolvem rápidas resistências iniciais. Materiais de base sulfato de cálcio são também empregados para esta finalidade.

4.17 Tijolos Anticorrosivos

Revestimentos de tijolos anticorrosivos[1] dão proteção otimizada contra ataque químico severo e são, portanto, indicados para uso em indústrias farmacêuticas, petroquímicas, químicas e de papel e celulose, entre outras. Este tipo de revestimento não forma, porém, uma barreira estanque por si só contra a penetração de líquidos, para o que é necessário uma membrana impermeável (camada isolante ou protetora) e, às vezes, ainda incorporar um refratário anticorrosivo entre o revestimento e a membrana.

Exemplos de membranas (READ Jr. et allii, 1989):

- Borracha e elastômeros sintéticos correlatos;
- PVC;
- Chumbo;
- Várias formulações de resinas sintéticas com reforço de tecido de vidro;
- Chapas plásticas rígidas ou semi-rígidas;
- Revestimientos cosidos, inclusive resinas e vidro;
- Uretanas ou outros elastômeros aplicados por pulverização;
- Asfaltos ou mastiques betuminosos;
- Amianto não impregnado ou feltro de fibra cerâmica aplicado com uma solução de silicato.

Um tijolo anticorrosivo distingue-se de um tijolo comum basicamente porque o anticorrosivo é fabricado a partir de matérias-primas com teor de fundentes especialmente baixo e, dado seu processo de fabricação, apresenta baixa porosidade e ausência de absorção. Os dois tipos podem ser feitos a partir de folhelho argiloso ou argila refratária.

Em presença de ácido fluorídrico, fluoretos ácidos e soluções cáusticas fortes e em condições de gradiente térmico pronunciado, são apropriados os tijolos à base de carbono. Tais tijolos apresentam maior absorção que os tijolos à base de fohelho argiloso ou argila refratária, mas são mais resistentes ao choque térmico e têm menor condutibilidade térmica.

4.18 Argamassas de Enxofre

Disponíveis na forma de pó, flocos ou em lingotes. São compostos fundidos a quente e devem ser levado a uma temperatura de aproximadamente 120 °C e derramados ainda quentes nas juntas entre os tijolos anticorrosivos com os quais são usadas.

As argamassas à base de enxofre consistem de enxofre, sílica inerte, fíler de carbono e plastificantes. Os plastificantes reduzem a friabilidade, melhoram as propriedades mecânicas e impedem a conversão do enxofre a uma forma cristalina inapropriada.

Estas argamassas são particularmente úteis para proteção contra ácidos oxidantes. Quando contêm carbono, elas são adequadas para proteção contra combinações de ácidos oxidantes e ácidos fluorídricos. A resistência térmica das argamassas de enxofre é relativamente baixa e seu uso é, portanto, limitado a instalações com temperaturas de trabalho abaixo de 88 °C. É baixa a resistência química a soluções alcalinas fortes e certos solventes orgânicos. A faixa recomendada de pH para uso deste tipo de argamassa é de 1,0 a 14,0. A vida útil (*pot life*) é muito variável.

---

[1]N.T.: Tipo também conhecido como Revestimento Anticorrosivo ou Antiácido Pesado.

4.19 Guia para seleção e especificação de materiais/sistemas destinados à recuperação de estruturas de concreto

Os Materiais/Sistemas para o reparo/recuperação/controle da corrosão em estruturas de concreto armado podem ser formulados para exibir uma ampla variedade de propriedades. Dado que as propriedades afetam o comportamento do reparo/recuperação/controle, a seleção do material/sistema correto requer um estudo cuidadoso.

Antes de selecionar um material/sistema, o engenheiro (especialista) necessitará realizar uma análise adequada do reparo e definir a estratégia de recuperação conforme Figura 4.19.1 e Figura 4.19.2, respectivamente.

Analisando a Recuperação

Antes de começar o processo de seleção do material/sistema, o engenheiro precisa determinar o Escopo do Projeto de Recuperação e identificar as etapas de análise da recuperação, definidas a seguir:

a) Requisitos do Proprietário

A visão da situação para que as necessidades do projeto sejam entendidas. Vida de serviço esperada, estética, necessidade de uso da estrutura durante os reparos e o orçamento previsto são coisas que deverão ser levadas em conta.

b) Condições de Serviço

Todos os componentes que envolvem a estrutura, tais como condições ambientais, contaminantes químicos e as cargas às quais será submetida, deverão ser identificados adequadamente para definir as propriedades físico-químicas e mecânicas do material/sistema a ser definido.

c) Condições de Aplicação

Condições ambientais esperadas, meios de acesso, tempo de execução do projeto e condições de operação podem afetar criticamente a seleção do material. Deve-se fazer uma lista de verificação, que ajudará a garantir que todos os aspectos que devem ser considerados sejam incluídos na avaliação.

d) Propriedades do material

Os materiais/sistemas para reparo/recuperação/controle de corrosão não deverão ser especificados até que as propriedades que melhor satisfaçam os objetivos do projeto sejam identificadas e colocadas em ordem de prioridade. Às vezes, otimiza-se uma propriedade às custas de outra. Por exemplo, um aumento no teor de cimento para obter alta resistência à compressão e alta durabilidade geralmente vai acompanhado de um aumento na fissuração por retração, que deverá ser tratada criteriosamente, já que disto dependerá a durabilidade da recuperação.

Entendendo a resposta do material/sistema a cada uma das condições de serviço esperadas, o especialista poderá estabelecer as propriedades do material específico que se requer para produzir um reparo duradouro.

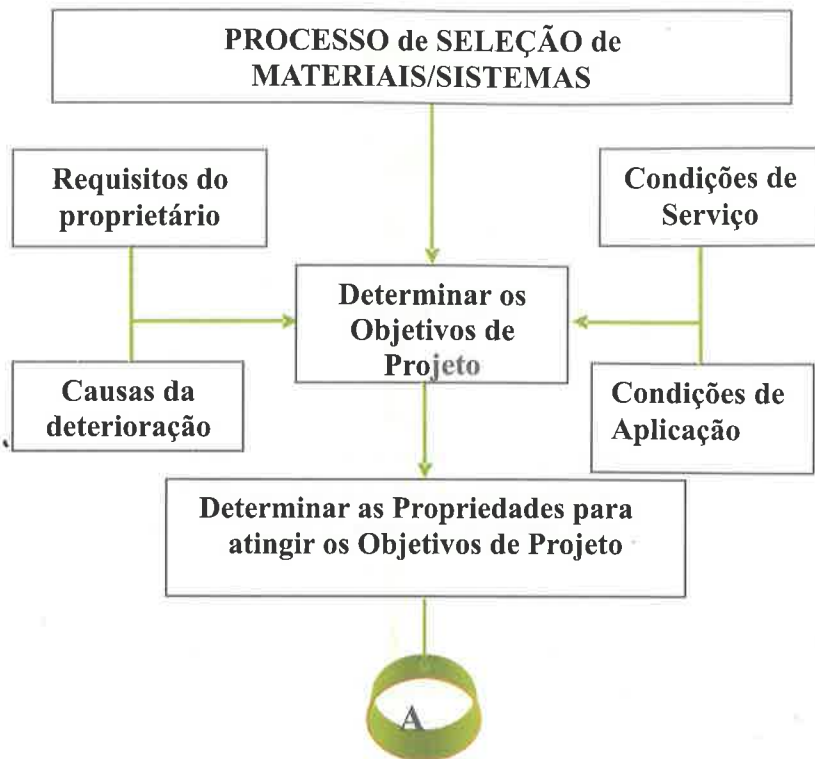



Figura 4.19.1. Análise da Recuperação, principais etapas

Selecionando os materiais/sistemas de reparo

Muitos projetos de recuperação terão condições únicas e requisitos especiais que deverão ser cuidadosamente examinados antes que o critério final de seleção do material/sistema possa ser determinado. A Figura 4.18.2 reúne as principais etapas do processo de seleção de materiais/sistemas de recuperação de estruturas de concreto.

Uma vez que tenham sido estabelecidos os critérios para uma recuperação compatível com o elemento a reparar, pode-se então identificar os materiais/sistemas com as propriedades necessárias que respondam a estes critérios.

Existe uma variedade de materiais/sistemas para reparo/recuperação/controle de corrosão que foram formulados para conferir uma ampla faixa de propriedades. Pois bem, dado que estas propriedades afetarão o comportamento do reparo, a seleção de um material correto para uma aplicação específica requer um estudo cuidadoso.

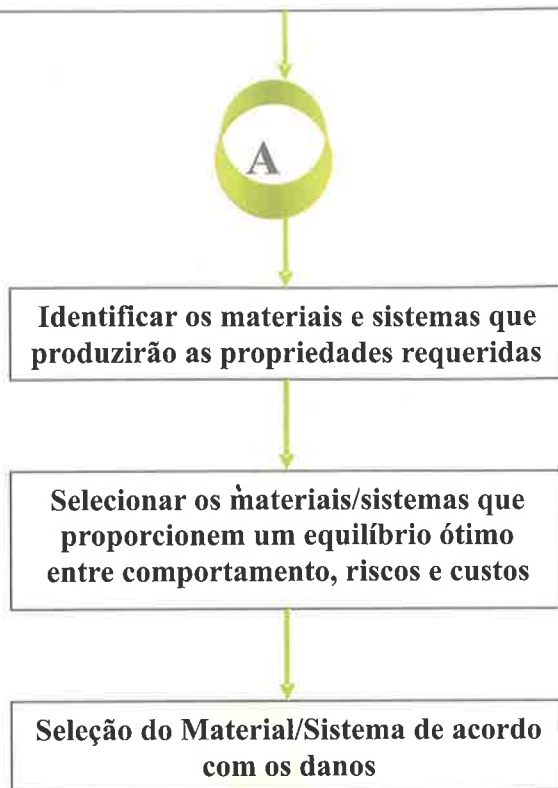



Figura 4.19.2. Estratégia de Recuperação, principais etapas do processo de seleção de materiais/sistemas de reparo.

Nas Tabelas 4.19.1 a 4.19.11 são apresentadas as principais propriedades e características que auxiliam na seleção dos **materiais/sistemas de recuperação**.

Nas Tabelas 4.19.12 a 4.19.18 são apresentadas as principais propriedades e características que auxiliam na seleção dos **materiais/sistemas de recuperação por técnicas eletroquímicas.**

Na Tabela 4.19.19 são apresentadas as principais propriedades que auxiliam na seleção dos **materiais usados como inibidores do mecanismo de corrosão.**

Finalmente, as Tabelas 4.19.20 a 4.19.22 apresentam as principais propriedades e características que ajudam na seleção dos **materiais/ sistemas de proteção e revestimento.**

Tabela 4.19.1. Materiais e sistemas de reparo

Material	Constituintes		Requisitos para a Aplicação		
	Aglomerante	Aditivos e adições típicos na mistura (1)	Limitações de espessura	Temp. de Instalação	Cura
Argamassa de cimento Portland	Cimento Portland	Redutores de água (plastificantes) Incorporadores de ar	0,5 – 2,0 in 13 - 50 mm	40 – 90 ^{0}F 5 – 32 ^{0}C	úmida 7 dias
Concreto de cimento Portland	Cimento Portland	Redutores de água Incorporadores de ar	>1,75 in > 44 mm	40 – 90 ^{0}F 5 – 32 ^{0}C	úmida 7 dias
Concreto de cimento Portland modificado com microssílica	Cimento Portland	Microssílica RAAR (2) Incorporadores de ar	>1,25 in > 30 mm	40 – 90 ^{0}F 5 – 32 ^{0}C	úmida 7 dias

(1) Exemplo de alguns aditivos e adições. (2) Superplastificante (*High range water reducer*/HRWR)

Tabela 4.19.2. Materiais e sistemas de reparo

Material	Propriedades dos Materiais											
	Retração de secagem	Coef. Exp. Térmica	Resistência à compressão (psi ou MPa)				Módulo elast. (psi ou MPa)	Permea-bilidade (% de concreto	Resist. congela-mento	Qualidade concreto	Exotermia
			1h	24h	3d	28d					
Argamassa Cimento Portland	Moderada	Similar substrato	0	650/5	2500/20	5000/35	$3,4^{6}$ $2,3^{4}$	90	Boa	Mod.	Mod.
Argamassa Cimento Portland	Baixa	Similar substrato	0	650/5	2500/20	5000/35	$3,8^{6}$ $2,6^{4}$	90	Boa	-	Baixa
Argamassa Cimento Portland	Baixa	Similar substrato	0	3000/25	4000/30	7500/55	$4,0^{6}$ $2,8^{4}$	60	Boa	Boa	Baixa

Tabela 4.19.3. Materiais e sistemas de reparo

Material	Constituintes		Requisitos para a Aplicação		
	Aglomerante	Aditivos e adições típicos na mistura (1)	Limitações de espessura	Temp. de Instalação	Cura
Concreto c/agreg. pré-colocado	Cimento Portland	Pozolana líquida	>3,0 in > 76 mm	40 – 90 ^{0}F 5 – 32 ^{0}C	Molhagem 7 dias
Concreto c/cimento de fosfato de magn.	Cimento de fosfato de magnésio	----	>0,50 in > 19 mm	0 – 100 ^{0}F -18 – 40 ^{0}C	Ar
Concreto de metac. de metila (MMA)	Resina acrílica	----	0,25 – 0,5 in 6 - 13 mm	20 – 120 ^{0}F -6 – 50 ^{0}C	Ar

(1) Exemplo de algumas adições e aditivos.

Tabela 4.19.4. Materiais e sistemas de reparo

	Propriedades dos Materiais										
Material	Retração de secagem	Coef. Exp. Térmica	Resistência Compressão (psi ou MPa)				Módulo elast. (psi ou MPa)	Permeabi-lidade (% de concreto)	Resist. congela-mento	Qualidade concreto	Exotermia
			1h	24h	3d	28d					
Concreto c/agreg. pré-colocado (1)	Muito baixa	Similar substrato	0	5600 /44	2500/ 15	4500 /35	$3,8^{6}$ $2,6^{4}$	100	Boa	N/A	Baixa
Concreto c/cimento de fosfato de magn.	Baixa	Similar substrato	2000 /14	6400 /44	7000/ 50	8400 /60	$4,7^{6}$ $2,2^{4}$	90	Boa	Baixa	Alta
Concreto de metacrilato de metila (MMA)(2)	moderada	1,5-5 x concreto	0	3000 /25	4000 /30	7500 /55	$2,0^{6}$ $1,4^{4}$	10	Excel.	Excel.	Alta

(1) ACI 34R-23 (2) O vapor é altamente inflamável, de odor forte – em lugares pouco ventilados ou confinados, pode causar problemas.

Tabela 4.19.5. Materiais e sistemas de reparo

Material	Constituintes		Requisitos para a Aplicação		
	Aglomerante	Aditivos típicos na mistura (1)	Limitações de espessura	Temp. de Instalação	Cura
Concreto de cimento Portland modificado com polímeros	Cimento Portland	Látex de polímero	>1,25 in > 30 mm	45 - 95 ^{0}F 7 - 35 ^{0}C	Molhagem 2 dias
Argamassa de cimento Portland modificada com polímeros	Cimento Portland	Ingrediente anti-escorrimento (2) Látex de polímero /pó	0,25-2,0 in 6 - 50 mm	45 - 95 ^{0}F 7 - 35 ^{0}C	úmida 3 dias
Argamassa epóxi	Resina epóxi	Areia	0,13 - 0,38 in 4 - 12 mm	50 - 90 ^{0}F 10 - 32 ^{0}C	Ar

(1) Exemplo de alguns aditivos. (2) N.T.: Para tornar a argamassa tixotrópica.

Tabela 4.19.6. Materiais e sistemas de reparo

	Propriedades dos Materiais										
Material	Retração de secagem	Coef. Exp Térmica	Resistência à compressão (psi ou MPa)				Módulo elast. (psi ou MPa)	Perm. % de concreto	Resist. congela-mento	Qualidade concreto	Exotermia
			1h	24h	3d	28d					
Concreto de Cimento Portland modificado com polímeros	Baixa	Similar substrato	0	2000 /15	4000 /30	4500 /35	$2,5^{6}$ $1,7^{4}$	50	Excel.	N/A	Baixa
Argamassa de cimento Portland modificada com polímeros	moderada	Similar substrato	0	1500 /10	3000 /25	8400 /60	$2,5^{6}$ $1,7^{4}$	50	Excel.	Baixa a Excel.	Mod.
Argamassa epóxi (1)	Baixa	1,5-5 x concreto	0	9000 /70	1100 /80	7500 /55	$1,6^{6}$ $1,1^{4}$	10	Excel.	Mod.	Alta

(1) ACI 503.4

Tabela 4.19.7. Materiais e sistemas de reparo

Material	Constituintes		Requisitos para a Aplicação		
	Aglomerante	Aditivos e adições típicos na mistura (1)	Limitações de espessura	Temp. de Instalação	Cura
Concreto projetado (*shotcrete*)	Cimento Portland	Microssílica Pozolanas Redutores de Água Látex acelerador Fibra de polipropileno Fibra metálica	> 5,0 in > 13 mm	40 – 90 °F 5 – 32 °C	úmida 7 dias

(1) Exemplo de algumas adições e aditivos.

Tabela 4.19.8. Materiais e sistemas de reparo

	Propriedades dos Materiais										
Material	Retração de secagem	Coef. Exp Térmica	Resistência Compressão (psi ou MPa)				Módulo elast. (psi ou MPa)	Perm. % de concreto	Resist. congela-mento	Qualidade concreto	Exotermia
			1h	24h	3d	28d					
Concreto projetado	Moderado	Similar substrato	0	800 /5	3500 /25	5000/35	$3,8^{6}$ $2,6^{4}$	60	Boa	N/A	Baixa

Tabela 4.19.9. Classificação de trincas e fissuras em função da abertura

Classificação de trincas/fissuras em função da abertura				
Clase	Abertura mínima (mm)	Abertura máxima (mm)	Resina epóxi Tipo	Resina epóxi Grau
A		≤ 0,178	I, IV	1
B	0,179	0,559	I, IV	1
C	0,560	5,080	I, IV(1)	1 e/ou 2
D	> 5,08		I, IV(1)	1 e/ou 2

Indica-se para estas fissuras o uso de uma resina grau 1 e/ou 2 porque é possível que, devido à profundidade da mesma, seja prudente a escarificação superficial e a injeção de uma resina de um ou outro grau. Para fissuras que requerem escarificação profunda, o reparo pode ser feito com resina grau 2 ou elastômero. Qualquer que seja a metodologia de reparo, tudo deve ser conforme os critérios do engenheiro especialista.

Tabela 4.1.9.10. Materiais e sistemas de reparo

Propriedades dos Materiais - resinas epóxi para injeção (1)			
Materiais	Viscosidade (grau 1/grau 2) (cP)	Módulo de elasticidade na compressão (psi/MPa)	Resistência à tração (psi/MPa)
TIPO I(2)	≤2000/2000-10.000	150.000/1034	5000/34,5
TIPO IV(3)	≤2000/2000-10.000	200.000/1379	7000/48,3

(1) As resinas epóxi para injeção são classificadas normalmente conforme a ASTM C-881.
(2) Tipo I: Aplicações onde não são transmitidas cargas através da trinca.
(3) Tipo IV: Aplicações onde são transmitidas cargas através da trinca.

Tabela 4.19.11. Materiais e sistemas de reparo

Material	Características Principais	Aplicação	Limitações	Outros
Uretano	Mono ou bicomponente (algumas vezes é fornecido com catalizador) Excelente aderência e flexibilidade. Elevada resistência à tração. Baixa viscosidade.	Aplicação manual e/ou mecânica. Injeção simples ou múltipla. Sela fissuras finas.	Sensível à umidade e à alta temperatura.	
Polissulfetos	Sistemas de dois componentes de polímero-polissulfetos. Sela juntas de todo tipo sujeitas a expansão e retração extremas	Podem ser aplicados em juntas verticais e horizontais. Resistem a temperaturas extremas, sais, ácidos, álcalis e a impactos fortes. Apresentam excelente aderência às paredes das juntas.	Não devem ser aplicados sobre superfícies úmidas. Em contato direto com materiais betuminosos, podem exibir cura insuficiente.	O material forma uma vedação sólida de borracha, cuja consistência ou dureza final é variável de acordo com requisitos específicos da obra.
Materiais asfálticos	São revestimentos que podem ser aplicados diluídos ou em formulação de alta viscosidade com fíleres inertes que os tornam tixotrópicos. Também são aplicados sob temperaturas elevadas, sem solvente.	São aplicados em pisos, tetos, fundações e paredes onde se requer uma barreira contra a água. Misturados com alguns produtos químicos, melhoram sua resistência a gases industriais condensados e ao ataque da luz solar.	São degradados facilmente pela ação da luz solar. Apresentam riscos para a saúde. Altamente sensíveis a compostos hidrocarbonados.	Em comparação com outros revestimentos, são de baixo custo.
Grautes	Produtos pré-dosados. Excelente penetração. Retração compensada. Alta resistência mecânica. De excelente a boas: carga dinâmica, resistência à fluência, a alta temperatura e à compressão.	Para reparos rápidos. Ancoragem de equipamentos sob vibração.	Aberturas de fissuras entre 12,7 mm e 50,8 mm. Sensíveis à umidade. Podem ser danosos para a saúde. Rápido endurecimento.	

Tabela 4.19.12. Materiais e sistemas de reparo por proteção catódica

Materiais do Anodo[1]	Tipo de Anodo	Anodo primário	Tempo de vida estimado segundo projeto do sistema (anos)	Rendimento densidade de corrente do anodo (µA/m.sq)	Custo estimado instalação (£/m.sq) 1996	Comentários	Possíveis mecanismos de falhas
Materiais à base de carbono	Revest. base solvente ou água	Fio de Pt/Ti Fio de Pt/Ni Fibra de carbono flexível.	10	10-20	50-60	Útil para a maioria das estruturas de concreto armado. Não apropriado para superfícies submetidas a desgaste. Bom para paredes, áreas protegidas de elementos estruturais e grandes áreas. Não é bom para áreas expostas à intempérie. Boa qualidade estética. Requer anodos primários a um máximo de 2 m de espaçamento.	Oxidação, desprendimento por clorinação, formação de bolhas por incompat. com o acabamento, fissuração, contato com o anodo prim., aumento da resistência elétrica do circuito, falha de aderência, afloramento do revest. através do acabamento, curto-circuito em fios ou barras expostas.
	Polímeros e resinas condutores	Fio de Pt/Ti Fio de Pt/Ni	10 - 15	5-10	40-50	Muito usado para faixas de rolamento com pouca armadura.	Oxidação, desprendimento por clorinação, problemas de contato com o anodo primário, secagem e movimentação térmico.
Titânio revestido com mescla de óxidos metálicos (MMO)	Malha expandida de MMO	Faixas de MMO/Ti Varetas de MMO/Ti Faixas de Mmo/Ni	+ 25	15 -60	60 - 90	Útil para qualquer estrutura de concreto armado. Pode provocar grandes saídas de corrente. Muito flexível. Requer anodos primários e muitas conexões. Requer revestimento. Agrega peso à estrutura.	Desprend. do revestimento, problemas com a conexão positiva do retificador, ataque ácido, dano mecânico em serviço.
	Fios, barras, fitas e faixas		+ 25	10 - 20	50 - 80	Útil para faixas de rolamento, áreas pequenas e para complementar o rendimento nas bordas quando se emprega em conjunto com malhas.	Desprend. do revestimento, problemas com a conexão positiva do retificador, ataque ácido, dano mecânico em serviço.

N.T.: A grafia **anodo**, e não **ânodo**, será usada neste livro, porque embora os dicionários recomendem a forma proparoxítona, a literatura técnica brasileira sobre proteção catódica praticamente só usa a forma **anodo**.

Tabela 4.19.13. Materiais e sistemas de reparo por proteção catódica

Tipo de Ânodo galvânico[1]	Características	Comentário
Zn pulverizado	Baixa capacidade de proteção ao longo do tempo. Em aplicações típicas, instala-se o sistema sem reparar o concreto, e a conexão ao aço é feita colocando diretamente o Zn com o aço de reforço exposto. O uso mais comum inclui estruturas onde a deterioração se encontra acima do nível da água e em estruturas onde as áreas isoladas requerem proteção.	Não é recomendado para áreas úmidas porque o Zn consome-se rapidamente.
Malhas de Zn integradas dentro de uma camisa	A malha é pré-instalada dentro de uma camisa de fibra de vidro, e o anodo é conectado diretamente à armadura. Uma vez instalada, não requer manutenção.	Economicamente viável quando a área a proteger é pequena.
Zn pulverizado usando agentes umectantes	Os umectantes (LiBr, $LiNO_3$, $KC_2H_3O_2$) ajudam o anodo a funcionar mais eficientemente, extendendo sua vida em serviço.	Mesmo quando melhoram a efetividade do anodo, é necessário umectação periódica.
Placas perfuradas de Zn em painéis de madeira ou plástico a compressão	Baixa capacidade de proteção ao longo do tempo. Em aplicações típicas, instala-se o sistema sem reparar o concreto, e a conexão ao aço é feita colocando diretamente o Zn com o aço de reforço exposto. O uso mais comum inclui estruturas onde a deterioração se encontra acima do nível da água e em estruturas onde as áreas isoladas requerem proteção.	Não é recomendado para áreas úmidas porque o Zn consome-se rapidamente.
Zn/hidrogel	O sistema consiste em uma lâmina delgada (10 mils = 0,254 mm) de Zn unida ionicamente a um hidrogel condutor que é também adesivo. Isto é aplicado diretamente sobre a superfície do concreto armado.	A presença do hidrogel condutor facilita a ativação do anodo, permitindo proteção a longo prazo.
Ligas Al-Zn-In embutidas em argamassa	Permitem proteção efetiva da armadura a longo prazo. A aplicação da argamassa evita que o anodo se passive.	Ainda estão em estudo.
Ligas Al–Zn por pulverização	Mesmo quando mostram efetividade, o anodo pode passivar-se se não for revestido.	Ainda estão em estudo.

[1]N.T.: A NBR 8734/1985 "Anodo Galvânico e Inerte para Proteção Galvânica" classifica os anodos como Classe A, usados em proteção catódica por corrente galvânica, e Classe B, anodos usados em proteção catódica por corrente impressa.

Tabela 4.19.14. Materiais e sistemas de reparo por proteção catódica

Materiais do Anodo	Tipo de Anodo	Anodo primário	Tempo de vida estimado segundo projeto do sistema (anos)	Rendimento densidade de corrente do anodo (μA/m.sq)	Custo estimado instalação (£/m.sq) 1996	Comentários	Possíveis mecanismos de falhas
Metais e ligas metálicas	Metalizado com Zn	Fio de Pt/Ti Fio de Pt/Ni Lâminas de latão. Lâminas de aço inoxidável.	10 - 15	5 - 10	50-60	Útil em áreas onde as camadas condutoras são eficazes. Requer anodos primários com grandes espaçamentos. Em condições muito úmidas, o anodo de Zn pode fornecer proteção de sacrifício ao aço.	Oxidação, velocidade de desgaste não unifome, problemas de conexão com o anodo primário. Aspectos de segurança por ter uma superfície metálica sobre gases que se formam sobre a superfície do concreto devido à metalização, o que aumenta a resistência do circuito.
Titânio platinizado	Anodos pequenos em pastas de grafita	N/A*	+ 20	< 10	40-50	Útil para áreas pequenas ou para proteção adicional em áreas de alta densidade de aço. Usado para aço profundo na estrutura, não satisfatório para grandes placas e paredes.	Havendo curto circuito no aço, pode delaminar-se a pasta de grafita.
	Vareta para imersão em água	N/A*	10 - 20	< 5 A/ânodo	150 c/u	Útil para conferir proteção catódica a estruturas sumergidas em água do mar ou água subterrânea salina.	Velocidade de desgaste não uniforme e problemas de ajuste elétrico. Dano mecânico.
	Barras embutidas	N/A*	10 -15	2-5 A/ânodo	150 c/u	Úteis como leitos de anodos para as fundações das estruturas.	Velocidade de desgaste não uniforme e problemas de ajuste elétrico.

*Não aplicável

Tabela 4.19.15. Materiais e sistemas de reparo por proteção catódica

Materiais do Anodo	Tipo de Anodo	Anodo primário	Tempo de vida estimado segundo projeto do sistema (anos)	Rendimento densidade de corrente do anodo (µA/m.sq)	Custo estimado da instalação (£/m.sq) 1996	Comentários	Possíveis mecanismos de falhas
Argamassas condutoras	Argamassa aplicada por projeção, com adição de carbono e revestida com metal.	Fio de Pt/Ti Fio de Pt/Ni Fita de MO/Ti	+25	20-50	50-60	Podem ser muito úteis para estruturas com média densidade de armadura. Argamassas aplicadas a 4 - 8 mm de espessura. Pode receber acabamento decorativo. Retêm a aparência cimentícia da estrutura.	Problemas de contato com o anodo primário, aderência à base de concreto, oxidação das partículas de carbono, mistura e técnicas de aplicação incorretas, dano ácido na interface, dano mecânico; a resistência elétrica pode aumentar.
Cerâmica condutora e fibra de vidro	Área pequena, montada como ladrilho.	N/A*	10	<5 mA/anodo	40	Pode não apresentar qualidades estéticas satisfatórias ou ser particularmente útil para grandes áreas.	Dano ácido ao graute da interface, detalhes de conexão ruim no retificador. Pode sofrer velocidades de desgaste e rendimento uniformes, alta resistência do circuito.
	Pequena barra de cerâmica.	Fio de Pt/Ti	+25	<8 mA/anodo	60	Útil para usar em pequenas áreas ou para proteção adicional de áreas de grande densidade de armadura. Útil para aço profundo na estrutura, não são satisfatórias para placas e paredes planas, nem para áreas com congestionamento de armadura.	Produto novo - pode ser bloqueado por gases, a menos que se utilize um sistema de irrigação do gás.

Tabela 4.19.16. Materiais e sistemas de reparo por proteção catódica

Materiais do Anodo	Tipo de Anodo	Anodo primário	Tempo de vida estimado segundo projeto do sistema (anos)	Rendimento densidade de corrente do anodo (µA/m.sq)	Custo estimado instalação (£/m.sq) 1996	Comentários	Possíveis mecanismos de falhas
Ligas à base de ferro	Anodos de ferro de alto silício (FeSiCr). Anodos de magnetita	N/A*	10-15	2-5 A/ánodo	150 c/u	Utilizados como leito de anodos para estruturas enterradas.	Utilizado para áreas planas de concreto com pouca armadura. Não é satisfatório para condições onde existe água em movimento. Agrega peso à estrutura.
Fio de polímero condutor	Fio e manta	N/A*	5-10	< 10	50	Utilizado para áreas planas de concreto com pouco reforço. Não é satisfatório para condições onde existe água em movimento. Agrega peso à estrutura.	Velocidade de desgaste não uniforme, os danos mecânicos ao polímero condutor podem resultar em aceleração da corrosão do cabo de cobre. Oxidação, clorinação e dano ácido ao revestimento.
Malhas de TI	Malhas de Ti em camisas condutoras	N/A	10 - 15	5 - 15	40 - 60	É um anodo pré-instalado em um painel de suporte de poliéster reforçado com fibra e colocado entre borrachas condutoras.	Oxidação, clorinação e desprendimento.

Tabela 4.19.17. Materiais e sistemas de reparo por extração eletroquímica

Materiais		Características
Anodo	Malha de aço	Sofrerão corrosão o tempo todo durante o processo, requerendo substituição do material, em geral após quatro semanas de tratamento. Não recomendado para a face superior de superfícies horizontais, porque os produtos de corrosão migram por gravidade para dentro do concreto, bloqueando poros e impedindo que o processo possa ocorrer normalmente.
	Malha de MMO/Ti	É a melhor alternativa, por ser um material inerte e porque pode ser reutilizado, mas é custa caro.
Eletrólito	Água potável	Mais eficiente, dado que os íons extranhos ao processo, que competem como transportadores de corrente, mantêm-se em um nível mínimo. No entanto, é produzido gás de cloro, o qual pode gerar um problema de saúde/segurança em ambientes fechados.
	Soluções alcalinas de hidróxido de cálcio saturado	Problemas onde o concreto contém agregados suscetíveis a álcalis.
	Soluções alcalinas de compostos de lítio	Solução para resolver o problema indicado.

Tabela 4.19.18. Materiais e sistemas de reparo por realcalinização eletroquímica

Materiais		Características
Anodo*	Malha de aço	São mais econômicas, e podem ser empregadas telas de galinheiro. Devido à corrosão, mancham o concreto e por isto deve-se fazer a limpeza no final dos trabalhos.
	Malha de MMO/Ti	Material inerte, resolve problemas de manchas no concreto, porém custa mais caro. Pode ser usada várias vezes, dependendo do tempo de tratamento. Utilizada principalmente com sistemas de fôrmas estanques, dada sua facilidade de manuseio.
Eletrólito	Fibra de celulose impregnada em carbonato de sódio 1M	Fácil de aplicar por pulverização no concreto
	Filtro impregnado com carbonato de sódio 1M	Aplicáveis apenas sobre superfícies horizontais.

Na Tabela 4.19.19 são apresentadas as principais propriedades que ajudam na seleção dos **materiais usados como inibidores do mecanismo de corrosão.**

Tabela 4.19.19. Principais características para a seleção de inibidores

Inibidor	Características principais	Comentários
Nitritos (NO_2^-)	São inibidores anódicos oxidantes. Atuam como passivadores devido a suas propriedades oxidantes, estabilizando a película passiva. O efeito dos nitritos está relacionado com a capacidade de oxidar os íons ferrosos a férricos. São muito eficazes. A relação nitrito/cloreto deve ser >1 para que o nitrito seja eficaz. Concentrações de nitritos menores que as requeridas podem causar o risco de um aumento da velocidade de corrosão. Quando imersos, lixiviam o concreto.	O mais empregado é o nitrito de cálcio [$Ca(NO_2)_2$]. Para que tenha grande durabilidade, deve ser utilizado em concretos de boa qualidade (a/c = 0,4). Leis ambientais locais poderão eventualmente proibir seu uso.
Fosfato de monofluoreto sódico (MFP/Na_2PO_3F)	Não pode ser usado misturado com o concreto fresco devido a que existe reação química com o concreto, pelo que deve-se utilizar para impregnar concreto endurecido. Apresenta problemas para penetrar efetivamente. As reduções de velocidades de corrosão não são significantes. Deve-se utilizar uma relação de concentração MFP/cloretos crítica >1 para a proteção da armadura.	O principal problema ao utilizar-se MFP como um líquido aplicado sobre a superfície é a sua penetração até o nível da armadura, já que a penetração no concreto é necessária para garantir a proteção.
Alcanolaminas e aminas	Seus sais com ácidos orgânicos e inorgânicos foram patenteados para diferentes aplicações. Influem na diminuição da penetração dos íons cloretos e na formação de uma película protetora. Usam-se misturadas com o concreto. Também têm sido utilizadas como inibidores migratórios, ou seja, aplicados a concreto endurecido.	A resistência à compressão e o tempo de pega podem ser alterados até uns 20 %. Sua eficácia como inibidores migratórios é questionável.
Óxido de zinco (ZnO)	Precipita-se tanto em áreas anódicas como nas catódicas e no interior do concreto, o que diminui a porosidade do mesmo. Retardador de pega. Melhor inibição a longo prazo. Mais eficaz que o nitrito de cálcio.	Ainda se encontra em avaliação. Misturado em concentrações iguais às do nitrito, melhores resultados são obtidos.
Emulsões de óleo/água	A fase oleosa é conformada por um éster de um ácido graxo insaturado de um ácido carboxílico alifático com um mono, di ou tri-álcool, e a fase água é composta por um ácido graxo saturado, um composto anfotérico, um glicol e um sabão. A mistura é adicionada ao concreto fresco no momento do lançamento.	Forma barreira física contra a ação de agentes agressivos como os cloretos.

As Tabelas 4.19.20 a 4.19.22 apresentam as principais propriedades e características que ajudam na seleção dos **materiais/sistemas de proteção/revestimento.**

Tabela 4.19.20. Classificação dos Materiais e sistemas de proteção/revestimento de acordo com o uso

Tipo de proteção /revestimento	Características principais
Impermeabilizante	Previne a entrada e saída de água do concreto. Podem ser decorativos e/ou protetores. Podem ser feitos de materiais epóxis, uretanos, acrílicos e camada de acabamento cimentícia modificada com polímeros. A impermeabilidade previne a fluorescência. Estes sistemas podem ser formulados para resistir à pressão hidrostática positiva ou negativa. Geralmente são películas espessas de asfalto, epóxi ou breu de uretana. Podem ser pulverizados na superfície do concreto ou aplicados como lâminas. Os revestimentos isolantes usados selam a porosidade do concreto e previnem a absorção de água.
Revestimento resistente à umidade ambiental	Geralmente são películas finas de emulsões asfálticas, alcatrão de hulha ou seladores penetrantes. Normalmente não são efetivos contra pressões hidrostáticas. Algumas vezes são usados em conjunto com revestimentos decorativos ou protetivos. Um uso comum deles é o de proteger o concreto contra o dano por congelamento-descongelamento. Dentro desta classificação incluem-se os compostos hidrófugos (repelem a água, porém permitem que o concreto respire).
Decorativo/Arquitetônico	Mudança de aparência da estrutura do concreto ou características estéticas. Usados para obter cor ou textura específica, ou aumentar a firmeza de cor e limpeza.
Protetivo	Geralmente são instalados sobre o concreto para isolar sua superfície do ambiente, por duas razões: Proteger o concreto da exposição a certos produtos químicos. Proteger contra certos produtos químicos, como os ácidos, álcalis e sulfetos. Geralmente previnem a penetração de soluções salinas e outros produtos químicos corrosivos no concreto, os quais causam a corrosão da armadura, o que causa expansão do concreto. Proteger um produto da contaminação por contato direto com o concreto. Também podem ser usados para selar totalmente os poros do concreto em tanques para que o produto ali contido, tal como alimento, água potável, etc., não seja contaminado.

Tabela 4.1º.21. Materiais e sistemas de proteção/revestimento

Material	Características principais	Vantagens	Desvantagens
Borracha clorada	Usada como revestimento decorativo e protetor. O tipo de resina determina as propriedades específicas do revestimento. A cura também influi nas propriedades químicas e físicas	Geralmente, os epoxis têm melhor aderência, menor retração na cura e sensibilidade à umidade que outras resinas termoestáveis. Proporcionam ao concreto uma superfície resistente e não porosa para a união química de revestimentos subseqüentes. Algumas vezes são resistentes aos ácidos. Proporcionam boa resistência à água.	A principal desvantagem é a baixa resistência à fotodegradação (U.V.) com relação à retenção de cor (tazándose). Sensível à ação do solvente, devendo-se aplicar a 2ª. demão decorridas 24 h. Não resiste a graxa ou óleo de origem animal. Problemas de contaminação.
Vinil	Geralmente são utilizados como seladores e revestimentos pigmentados. São muito usados em uma ampla faixa de aplicações, desde revestimento interno de tanques até pisos.	Funcionam bem como materiais isolantes e resistentes à umidade. Proporcionam cores resistentes e duráveis. Flexíveis, elásticos e resistentes a ácidos e álcalis.	Podem ser difíceis de aplicar e de repintar. Devido a seu alto peso molecular, os revestimentos vinílicos não conseguem penetrar e aderir bem ao concreto.
Poliéster e éster vinílicos	Os acrílicos de baixa viscosidade, com pouca ou nenhuma adição de agregados, podem ser usados como penetrantes primários sobre a superfície do concreto. Algumas vezes são usados com camadas pesadas como revestimentos de pisos. Normalmente são usados em concreto como a resina ligante para sistemas reforçados com lâminas de fibra de vidro. O grau de resistência ao meio ambiente varia com a formulação específica.	Podem ser formulados com excelente resistência à fotodegradação (U.V.), assim como com moderada a boa resistência química. Proporcionam uma boa resistência à água.	Problemas de contaminação por evaporação do solvente. Podem ser difíceis de aplicar diretamente sobre a superfície do concreto devido a que podem reagir com a umidade do concreto e ocasionar pouca aderência ou desprendimento.
Epóxi	Usado como revestimento decorativo e protetor. O tipo de resina determina as propriedades específicas do revestimento. A cura também influi nas propriedades químicas e físicas.	aderência, menor retração na cura e sensibilidade à umidade que outras resinas termoestáveis. Proporcionam ao concreto uma superfície resistente e não porosa para a união química de revestimentos subseqüentes. Algumas vezes são resistentes aos ácidos.	A principal desvantagem é a baixa resistência à fotodegradação (U.V.) com relação à retenção de cor (tazándose).
Acrílico	Os acrílicos de baixa viscosidade, com pouca ou nenhuma adição de agregados, podem ser usados como penetrantes primários sobre a superfície do concreto. Algumas vezes são usados com camadas pesadas como revestimentos de pisos.	Podem ser formulados com excelente resistência à fotodegradação (U.V.), assim como com moderada a boa resistência química.	Problemas de contaminação por evaporação de solvente
Látex	Polímero emulsionado em água usado principalmente para fins decorativos	Excelente resistência à fotodegradação (U.V.). São relativamente econômicos. Sua aplicação é fácil e segura, especialmente em ambientes fechados.	Possuem resistência química muito baixa e são permeáveis, o que os torna uma opção ruim como barreira protetora.
Poliuretano	Os mais comuns são: poliuretanos aromáticos e alifáticos. Podem ser formulados para produzir películas finas semi-rígidas tanto como elastômeros espessos flexíveis. Podem ser usados para proteger ou decorar superfícies de concreto. Os poliuretanos	Os poliuretanos alifáticos são resistentes à luz U.V. e oferecem grande proteção contra o clima em superfícies externas pintadas. Os uretanos poliéster proporcionam cor excepcional e proteção	Embora sejam compatíveis com o concreto, geralmente não são aplicados diretamente sobre a superfície do concreto. Normalmente são usados com revestimento primário ou outro material base, tal como epóxi, para

	elastoméricos são geralmente utilizados para revestir tubulações de águas servidas de concreto. Películas de poliuretano normalmente não são usadas em imersão na água.	à radiação U.V. imersos em água, quando aplicados como revestimento final sobre a barreira apropriada.	aumentar a aderência à superfície do concreto.

Material	Características principais	Vantagens	Desvantagens
Silicatos inorgânicos	São usados principalmente como seladores (1). Em alguns casos, podem ser especificados como penetrantes primários para uso com revestimentos poliméricos e cimenticios modificados com polímeros.	Impermeabilizantes. Protegem a estrutura contra a entrada de cloretos.	
Furanos	Tipicamente são formulados para produzir barreiras de películas espessas, mas podem ser usados como resinas ligantes para sistemas reforçados com lâminas de fibra de vidro.	Podem ser utilizados em ambientes fortemente ácidos e com outros produtos químicos que podem envolver altas temperaturas de serviço.	Muitos revestimentos de furano são curados com ácidos e, assim, não podem ser aplicados diretamente sobre o concreto devido a que o álcali do concreto pode neutralizar o catalizador ácido.
Betumes diluídos	São soluções solventes de revestimentos de alcatrão de hulha ou asfalto. Ambas têm sido extensamente usadas em superfícies de concreto. Podem ser usados isolados ou, no caso de revestimento impermeabilizante em superfícies de concreto externas, instalados como membrana composta de múltiplos revestimentos e incluindo fibras de vidro como reforço. Especificamente, as emulsões betuminosas podem requerer que a superfície do concreto seja umedecida antes da aplicação. Isto produz uma penetração mais profunda e maior aderência; além disso, apenas com alguma resina pode-se diminuir a tendência do concreto seco a sugar a água.	Fáceis de aplicar	Tornam-se rigidos e trincam pela ação da luz ultravioleta (U.V.)
Silanos/siloxanos	São compostos hidrófugos (hidrorrepelentes) devido ao grupo organo/funcional, portanto sua eficácia depende do tipo, tamanho e ligação do grupo alquídico. Em conjunto com os grupos alcoxis, proporcionam reatividade química e aderência ao concreto.	Funcionam como materiais seladores penetrantes dentro do sustrato de concreto (impregnam o concreto).	São de difícil repintura.
Silicones	Geralmente são utilizados como seladores e revestimentos pigmentados	Funcionam bem como materiais isolantes e resistentes à umidade. Possuem estabilidade de cor.	Podem ser difíceis de aplicar e repintar.

(1) N.T.: silicatação

Tabela 4.19.22. Materiais e sistemas de proteção/revestimento

Material *	Características	Comentários
Galvanizado	Classe I: 1070 g/m^2 e Classe II: 610 g/m^2 . As barras, uma vez galvanizadas, deverão ser trabalhadas com cromatos para evitar os efeitos adversos do Zn ao reagir com o concreto fresco (evolução de hidrogênio). Foi demonstrada a efetividade da galvanização no concreto carbonatado, mas não no concreto contaminado com íons cloreto.	ASTM A767
Epóxi	Aplicado a quente, "fusion bonded", com espessuras entre 7 e 12 mils (175 – 300 µm). Algumas vezes é utilizado um pré-tratamento de cromado para melhorar a aderência aço/epóxi. Não tem-se mostrado muito eficaz devido ao dano ocasionado às barras durante sua manipulação.	Devem satisfazer as seguintes normas: ASTM A775, ASTM D3963, AASHTO/M284 (barras que serão dobradas) e ASTM A934 (barras retas).

*Outros revestimentos, como Ni, Cu e aço inoxidável, têm sido testados, porém ainda estão em estudo.

A Tabela 4.19.23 apresenta uma série de recomendações para a seleção dos sistemas de proteção (revestimento e/ou proteção) baseadas nas condições de exposição.

Tabela 4.19.23. Recomendações baseadas em condições de exposição*

Proteção (Revestimento e/ou proteção)	*Resistência à água*	*Facilidade de Limpeza*	*Estética*	*Resistência ao pó*	*Produtos químicos suaves*	*Produtos químicos fortes*	*Dano físico moderado*	*Dano físico severo*
Silicone/silanos/siloxanos	R	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Cimentícios	R	NR	R	NR	NR	NR	NR	NR
Película fina de poliuretano	R	R	R	R	R	NR	R	NR
Epóxi poliéster	R	R	R	R	R	NR	NR	NR
Látex (1)	R	R	R	R	NR(2)	NR	NR(2)	NR
Borracha clorada	R	R	R	R	R	NR	R	NR
Epóxi	R	R	R	R	R	NR	R	NR
Epóxi fenólico	R	R	R	R	R	R	R	NR
Epóxi com adição de agregados	R	R	R	R	R	R	R	NR
Uretanos	R	R	R	R	R	R	R	R
Elastômeros	R	R	R	R	R	R	R	R
Alcatrão de hulha	R	R	NR	R	R	R	R	R
Estervinílica/poliéster	R	R	NR	R	R	R	R	R

R: Recomendado NR: Não Recomendado (1) Excluindo látex vinílico (2) Certos tipos de látex podem ser recomendados para o serviço.

Referências Bibliográficas

European Federation of Corrosion Publications. *«Corrosion of Reinforcement in concrete. Monitoring , Prevention and Rehabilitation» Papers* from EUROCORR'97. Number 25. Edited by J. Mietz, B. Elsener and R. Polder. ISSN 1354-5116 199 .

European Federation of Corrosion Publications. *«Eerochemical Rehabilitation Methods for Reinforced Concrete Structures. A state of Art Report»* Number 24. Edited by J. Mietz. ISSN 1354-5116. 1998.

«Cathodic Protection of Steel in Concrete» Edited by P.M. Chess. E & FN SPON an imprint of Roufledge London and New York. ISBN 0419 230106 1998.

«Generic Coating Types. An Introduction to Industrial Maintenance Coating Materials». General Editor Lloyd M. Smith SSPC95-08

Associate Technical Editor Richard Drisko *«The Fundamentals of Cleaning and Coating Concrete»*. Chief Technical Editor Randy Nixon.. SSPC 01 - 10. ISBN 1-8890 60-61-5. 2001

NACE Standard. RP 0591-91 *«Coating for Concrete Surfaces in Non Immersion and Atmospheric Services»*. 1991.

NACE Technical Committee Report 01102 *«State of the Art Report: Criteria for Cathodic Protection of Prestressed Concrete Structures»* Task Group 046. 2002.

ICRI guideline Number 03732 *«Selecting and Specifying Concrete Surface Preparation for Sealers, Coating and Polymer Overlays»*. 1997.

The Aberdun Group *«Epoxy Injection in Construction. Jhon Trout»* 1997

ICRI Guideline Number 03730 *«Guide for Surface Preparation for the Repair of Deteriorated Concrete Resulting from Reinforcing Steel Corrosion»* 1995.

ICRI Guideline No. 03732 *«Guide for Selecting and Specifying Concrete Surface Preparation forn Sealers, Coatings, and Polymer Overlays»* 1997

ICRI Guideline No. 03733. *«Guide for Selecting and Specifying Materials for Repair of Concrete Surfaces»*. 1996

ICRI Guideline Number 03734 *«Guide for Verifying Field Performance of Epoxy Injection of Concrete Cracks»*. 1998.

ICRI Guideline Number 03735 «Guide for Methods of Measurement and Contract Types for Concrete Repair Work» 2000.

ACI 201.1R-68 *«Guide for Making a Condition Survey of Concrete in Service»*.

Emmanuel E. Vehivasakis, Richard Haver, Stenk Hariksa *«Electrochemical Techniques Stop Steel Corrosion»* Concrete Repair Bulletin. September/October 1991 pp 18-23.

Dennis J. Pinelle *«Speaking Clearly About Clear Waterproofers»* Concrete Repair Bulletin. September/October 1994 pp 15-17.

R.J. Kessler, R. G. Powers, I. Rl.lasa *«Cathodic Protection Using Zinc Sheet Anodes and an Ion Conductive Gel Adhesive»* Paper No. 234 CORROSION'97. NACE International. 1997

Miki Funahashi, Steven F. Daily and Walter T. Young *«Performance of Newly Developed Sprayed Anode Cathodic Protection System»*. Paper No. 254 CORROSION'97. NACE International. 1997

H. Saricimen, O.A. Ashiru, N.R. Jarrah, A. Quddus and M. Shameen *«Effect of Inhibitors and Coatings of Rebar Corrosion»*. Paper No. 385 CORROSION'97. NACE International. 1997

B.S. Covino, Jr., S.D. Cramer, S.J. Bullard, G.R. Holcomb, W.K. Collins, G.E. McGill *«Consumable and Non-Consumable Thermal Spray Anodes for Impressed Current Cathodic Protection of Reinforced Concrete Structures»*. Paper No. 658 CORROSION'98. NACE International. 1998

R.J. Kessler, R. G. Powers, I. Rl.lasa *«Cathodic Protection Using Zinc Sheet Anodes and an Ion Conductive Gel Adhesive»* Paper No. 234 CORROSION'97. NACE International. 1997

Miki Funahashi, Steven F. Daily and Walter T. Young *«Performance of Newly Developed Sprayed Anode Cathodic Protection System»*. Paper No. 254 CORROSION'97. NACE International. 1997

H. Saricimen, O.A. Ashiru, N.R. Jarrah, A. Quddus and M. Shameen *«Effect of Inhibitors and Coatings of Rebar Corrosion»*. Paper No. 385 CORROSION'97. NACE International. 1997

B.S. Covino, Jr., S.D. Cramer, S.J. Bullard, G.R. Holcomb, W.K. Collins, G.E. McGill *«Consumable and Non-Consumable Thermal Spray Anodes for Impressed Current Cathodic Protection of Reinforced Concrete Structures»*. Paper No. 658 CORROSION'98. NACE International. 1998

R.J. Kessler, R. G. Powers, I. RI.lasa *«Cathodic Protection Using Zinc Sheet Anodes and an Ion Conductive Gel Adhesive»* Paper No. 234 CORROSION'97. NACE International. 1997

Miki Funahashi, Steven F. Daily and Walter T. Young *«Performance of Newly Developed Sprayed Anode Cathodic Protection System»*. Paper No. 254 CORROSION'97. NACE International. 1997

H. Saricimen, O.A. Ashiru, N.R. Jarrah, A. Quddus and M. Shameen *«Effect of Inhibitors and Coatings of Rebar Corrosion»*. Paper No. 385 CORROSION'97. NACE International. 1997

R.J. Kessler, R. G. Powers, I. RI.*lasa «Cathodic Protection Using Zinc Sheet Anodes and an Ion Conductive Gel Adhesive»* Paper No. 234 CORROSION'97. NACE International. 1997

Miki Funahashi, Steven F. Daily and Walter T. Young *«Performance of Newly Developed Sprayed Anode Cathodic Protection System»*. Paper No. 254 CORROSION'97. NACE International. 1997

H. Saricimen, O.A. Ashiru, N.R. Jarrah, A. Quddus and M. *Shameen «Effect of Inhibitors and Coatings of Rebar Corrosion»*. Paper No. 385 CORROSION'97. NACE International. 1997

Moavin Islam, Alí A. Sohanghpurwala, William T. Scannell, and Donald R. Jackson. *«Key Issues in Evaluating performance of Different Corrosion Protection Systems on Reinforced Concrete Structures»* Paper CORROSION'99. NACE International. 1999

Izic Sitton and Jorge E. Costa *«A Hybrid Impressed Current and Galvanic Cathodic Protection System»*. Paper No. 547 CORROSION'99. NACE International. 1999

Miki Funahashi, P.E. and Walter T. Young, P.E. *«Three Year Performance of aluminum Alloy Galvanic Cathodic Protection System»*. Paper No. 550 CORROSION'99. NACE International. 1999

J.E. Wehling. *«A Galvanic Zinc-Hydrogel System For Cathodic Protection of Reinforced Concrete Structures»*. Paper No. 551 CORROSION'99. NACE International. 1999

Jack Bennet, James B. Bushman, Jorge Costa, Paul Noyce *«Field application of Performance Enhancing Chemicals to Metallized Zinc Anodes»*. Paper No. 00790 CORROSION'2000. NACE International. 2000

Douglas L. Leng, Rodney G. Powers and Ivan R. Lasa *«Zinc Mesh Cathodic Protection Systems»*. Paper 00795 CORROSION'2000. NACE International.2000

Stephanie Charvin, William Hartt and Seungkyoun Lee, Rodney G. Powers *«Influence of Permeability Reducing and Corrosion Inhibiting Admixtures in Concrete Upon Initiation of Salt Induced Embedded Steel Corrosion»*. Paper 802 CORROSION'2002. NACE International. 2000

Donald R: Jackson, Moavin Islam *«Field Experience and Long Term Monitoring of Some Reinforced Concrete Bridge Structures Subjected to Electrochemical Chlorinating Extraction (ECE)*. Paper 00821 CORROSION'2002 NACE International. 2002

R.J. Kessler, R.G. Powers and I.R. Lasa *«An Update on the Long Term Use of Cathodic Protection of Steel Reinforced Concrete Marine Structures»*. Paper 02254 CORROSION'2002 NACE International. 2002

B.S. Covino, Jr., S.J. Bullar, G.R. Holcomb, J.H. Russell, S.D. Cramer, J.E. Bennett, H.M. Laylor. *«Chemical Modification of Thermal-Sprayed Zinc Anodes for Improved Cathodic Protection of Reinforced Concrete»*. 14th. International Corrosion Congress. Cape Town, South Africa. 1999

S.J. Bullard, B.S. Covino, Jr. S.D. Cramer, G.R. Holcomb, J.H. Russell, J.E. Bennett, C.B. Cryer and H.M. Laylor. *«Alternative Consumable Anodes for Cathodic Protection of Reinforced Concrete Bridges»*. 14th. International Corrosion Congress. Cape Town, South Africa. 1999

NACE International *«Protective Coatings & Lining - Course 2. Chapter 8 «Concrete and Other Cementitious Surface»*.1998

CAPÍTULO 05

Procedimentos de Preparo e Limpeza do Substrato

CAPÍTULO 05

Procedimentos de Preparo e Limpeza do Substrato

Autores
Harold Muñoz
Paulo Helene

Fernanda Pereira
Lila Hashook

INTRODUÇÃO

L qualidade do reparo ou reforço depende em grande parte de um adequado preparo e limpeza do substrato, e assim estes deverão ser executados com o maior cuidado possível, utilizando materiais e equipamentos apropriados e a melhor técnica construtiva disponível.

O concreto

A interface que se forma entre o concreto existente e o novo deve possuir resistência suficiente para desenvolver as propriedades mecânicas que constituem os fundamentos da análise estrutural.

A armadura

Adicionalmente, o reparo deve permitir à armadura desenvolver os esforços estabelecidos nas condições de projeto.

5.1 Preparo do substrato

O preparo do substrato é entendido como o conjunto dos procedimentos efetuados antes da limpeza da superfície e da aplicação propriamente dita dos materiais e produtos de correção, ou seja, são os tratamentos prévios da superfície dos componentes estruturais.

A Tabela 5.1 seguinte relaciona os principais procedimentos de preparo do substrato.

Tabela 5.1 Procedimentos de preparo do substrato

Item	Procedimento	Procedimento mais adequado para quando se deseja, na próxima etapa			
		concreto com superfície		***aço com superfície***	
		seca	***úmida***	***seca***	***úmida***
5.1.1	Escarificação manual	adequado	adequado	inadequado	inadequado
5.1.2	Disco de desbaste	aceitável	adequado	aceitável	aceitável
5.1.3	Escarificação mecânica	adequado	adequado	inadequado	inadequado
5.1.4	Jato de granalha	adequado	adequado	inadequado	inadequado
5.1.5	Demolição	adequado	adequado	inadequado	inadequado
5.1.6	Lixamento manual	inadequado	aceitável	adequado	aceitável
5.1.6	Lixamento elétrico	adequado	aceitável	adequado	aceitável
5.1.8	Escovamento manual	adequado	aceitável	adequado	aceitável
5.1.9	Martelo de pinos	adequado	adequado	adequado	adequado
5.1.10	Pistola de agulha	inadequado	inadequado	adequado	adequado
5.1.11	Jato de areia seca	adequado	adequado	adequado	aceitável
5.1.12	Jato de areia úmida	inadequado	adequado	inadequado	aceitável
5.1.13	Disco de corte	aceitável	adequado	adequado	adequado
5.1.14	Queima controlada	adequado	inadequado	inadequado	inadequado
5.1.15	Remoção de óleos e graxas impregnados	inadequado	adequado	inadequado	adequado
5.1.16	Maquina de desbaste superficial	adequado	adequado	inadequado	inadequado
5.1.17	Saturação com água	inadequado	inadequado	adequado	inadequado

5.1.1 Escarificação Manual

EQUIPAMENTO

Ponteiro, talhadeira e marreta.

Talhadeira

http://www.dewalt.com

USOS MAIS COMUNS

Preparo de pequenas áreas e locais de difícil acesso para os equipamentos maiores.

Apicoamento de superfícies.

VANTAGENS

Método prático para intervenções menores. Pouco ruído e ausência de poeira excessiva, além de não exigir instalações específicas de água ou energia e mão-de-obra especializada, e portanto é conveniente para uso em regiões afastadas.

PROCEDIMENTO

Demarcar a área que receberá intervenção. Escarificar de fora para dentro, evitando golpes que possam lascar as arestas e contornos da região em tratamento. Tomar cuidado para não atingir a armadura. Retirar todo o material solto, mal compactado e segregado, até atingir concreto são, obtendo superfície rugosa e coesa, proporcionando boas condições de aderência. Deve-se prover cimbramento adequado, se necessário.

DESVANTAGENS

Seu uso é restrito porque tem baixa produção. Após a escarificação, é necessário efetuar limpeza, preferencialmente com ar comprimido, para remoção do pó. Requer cuidado para não comprometer a estrutura.

5.1.2 Disco de Desbaste (Lixadeiras Rotativas)

USOS MAIS COMUNS

Preparação e desbaste de grandes áreas.

EQUIPAMENTO

Lixadeira industrial com disco para desbaste de pisos, úmido ou a seco.

http://www.handytoolsatore.com.

http://www.trelawnyspt.com

PROCEDIMENTO

Aplicar o disco com lixa sobre a superfície, aproveitando o peso próprio do equipamento.

Efetuar o desbaste em camadas ou passadas cruzadas a 90°.

Desbastar, de cada vez, uma espessura pequena, mantendo uniformidade da espessura em toda a superfície.

VANTAGENS

Alta produtividade.

DESVANTAGENS

Requer mão-de-obra especiali-zada.

5.1.3 Escarificação Mecânica

Consiste em um cilindro ou tambor giratório com facas ou pastilhas que impactam a superfície do concreto em ângulo reto para fraturá-la ou desbastá-la.

PROCEDIMENTO

Demarcar a área que será tratada. Escarificar de fora para dentro, evitando golpes que possam lascar as arestas e contornos da região em tratamento.

Tomar cuidado para não atingir a armadura.

USOS MAIS COMUNS

Preparação de grandes áreas.

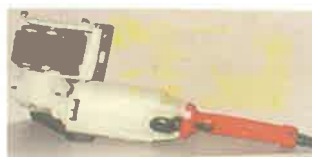
Apicoamento.

EQUIPAMENTO

Martelete pneumático.

http://www.handytoolstore.com

Fresa para piso.

http://www.handytoolstore.com

O equipamento pode estar disponível comercialmente em várias versões, existindo uma faixa de comprimentos do cilindro ou tambor com as pastilhas que vai de 10 a 90 cm.

Recomenda-se trocar as facas (pastilhas) a cada 8 horas de operação contínua.

VANTAGENS

Alta produtividade.

DESVANTAGENS

Baixa produtividade para espessuras superiores a 1 cm. Requer cuidado para não comprometer a estrutura. Após a escarificação, é necessário proceder à limpeza com ar comprimido para remoção de pó e partículas pequenas.

5.1.4 Jato de granalha

Shot-blasting

USOS MAIS COMUNS

Grandes superfícies. Remoção de revestimentos, adesivos e contaminantes superficiais para posterior aplicação de um sistema de proteção superficial.

EQUIPAMENTO

Um sistema de aspirador pneumático coleta o pó, separa e recicla a granalha e descarta o pó através de um sistema de filtros.

Também existem rolos manuais magnéticos que permitem recolher a granalha que fica depositada sobre o piso.

PROCEDIMENTO

O método consiste em impulsionar abrasivos metálicos (granalha esférica ou angular) em movimento centrífugo numa roda giratória, que golpeiam a superfície do concreto sob altas velocidades e são rebatidos para uma unidade de recuperação.

VANTAGENS

Alta produtividade.

DESVANTAGENS

Para espessuras superiores a 1 cm, o rendimento é baixo.

5.1.5 Demolição

http:// www.driller.com

http:// www.aquatool.net

PROCEDIMENTO

Um método agressivo para a remoção da capa superficial de concreto é por meio de demolição (martelete pneumático ou eletromecânico) ou de excavação usando grandes máquinas.

Demarcada a área que se deseja tratar, procede-se à demolição ou excavação da região afetada, tomando o cuidado de não deixar áreas quebradiças ou fragmentadas.

Deve-se ter o cuidado de não atingir a armadura. Retirar o material até obter uma superfície sã, rugosa e compacta, que permita boa condições de aderência.

USOS MAIS COMUNS

Preparação, demolição ou excavação de grandes áreas.

EQUIPAMENTO

Demolição: martelete (20 kg) pneumático ou eletromecânico, rompedor, britadeira.

http:// www.driller.com

Excavação: escavadeira perfuratriz transportada sobre uma esteira e com equipamento para remover os detritos e escombros, tais como carregador ou contêiner, pás, vassouras, cabeçotes e pastilhas para a escavadeira.

http:// www.dunnco.com

VANTAGENS

Permite o uso de vários marteletes acoplados a um só compressor (no caso de martelete pneumático).

Alto rendimento na preparação.

DESVANTAGENS

A demolição não é adequada para trabalho em altura e quando se trata de elementos estruturais esbeltos. Deve-se prever escoramento adequado.

Requer mão-de-obra especializada e cuidado por parte dos operários para não comprometer a estrutura.

Produz muito ruído, pó e vibração provocando microfissuras no substrato

5.1.6 Lixamento Manual

USOS MAIS COMUNS

Preparo de superfícies de dimensões reduzidas ou lixamento de barras de aço.

PROCEDIMENTO

Esfregar a lixa em movimentos circulares e enérgicos sobre a superfície. No caso do aço, procurar atingir a condição de cor metálica da superfície onfor como «metal quase branco».

Procurar eliminar os produtos de corrosão até que apareçam apenas pequenas manchas sobre a superfície.

EQUIPAMENTO

Lixa d'água para concreto ou lixa de ferro para aço.

OBSERVAÇÕES

Toda a carepa de laminação (camada de óxidos) e produtos de corrosão deverão ser removidos, de modo que o metal apresente apenas leves manchas na superfície. Após a limpeza, 95 % de cada área de 9 cm² deverão estar livres de resíduos visíveis e apresentar coloração cinza clara, tolerando-se pequenas manchas.

Este critério é o conhecido «jato ao metal quase branco» **Padrão Sa $2_{1/2}$** da norma sueca[1] SIS 05 5900:1967: *Pictorial Surface Preparation Standards for Painting Steel Surfaces* (Padrões Fotográficos de Preparo de Superfícies para a Pintura sobre Aço).

VANTAGENS

Trata-se de um método manual, que dispensa equipamentos pesados, e portanto ao alcance de todo operário.

DESVANTAGENS

Baixa produtividade e exigência de controle de qualidade criterioso (fiscalização).

[1]A NBR 7348/1982 «Limpeza de Superfícies de Aço com Jato Abrasivo» é a norma equivalente da ABNT. A designação da norma Petrobrás para este padrão também é Sa 2 ½.

5.1.7 Lixamento Elétrico

USOS MAIS COMUNS

Preparo de superfícies de concreto ou chapas de aço.

http://www.dwalt.com

EQUIPAMENTO

Lixadeira eletromecânica com disco de lixa acoplado e provida de protetor.

http://www.dewalt.com

PROCEDIMENTO

Polir a superfície fazendo movimentos circulares, procurando manter a lixa paralela à superfície em tratamento.

DESVANTAGENS

Provoca elevado grau de sujeira e poeira no ambiente, requerendo o uso de máscara para proteção do operador.

VANTAGENS

Remove as impurezas existentes na superfície do concreto, abre e limpa seus poros.

Remove as eflorescências e permite a regularização da superfície do concreto.

Remove a carepa de laminação e a crosta de corrosão superficial das chapas metálicas.

Alta produtividade.

5.1.8 Escovamento Manual

http://www.hako.es

USOS MAIS COMUNS

Preparo de áreas de pequenas dimensões em locais de fácil acesso e remoção de produtos de corrosão incrustados nas barras.

http://www.handytoolstore.com

EQUIPAMENTO

Escova com cerdas de aço.

PROCEDIMENTO

Escovar a superfície até a completa remoção de partículas soltas ou qualquer outro material indesejável.

DESVANTAGENS

Baixa produtividade, uso restrito.

VANTAGENS

Fácil acesso e manuseio, não requerendo mão-de-obra especializada nem instalações específicas.

Em contato com a armadura, retira os produtos da corrosão, desde que a escova seja aplicada de forma enérgica e eficiente.

5.1.9 Apicoamento com Martelo (matraca) de Pinos

Apicoamento de superfície metálica

Apicoamento de superfície de concreto

PROCEDIMENTO

O método consiste em impactar a superfície do concreto em ângulo reto com pinos dotados de cabeçotes cortantes.

É utilizado para remover revestimentos epóxicos, de poliuretano, sistemas metilmetacrilato em superfícies deterioradas de concreto, em espessuras de 3 mm a 6 mm ([!» a ¼»).

Para garantir um bom funcionamento, deve-se cuidar para que o equipamento seja movido por um compressor de ar que produza uma pressão de 180 cfm ≅ 120 psi, assim como mangueiras de ar de 12 mm a 50 mm (½» a 2") de diâmetro interno.

USOS MAIS COMUNS

Remoção do concreto deteriorado e/ou de sistemas de proteção superficiais de grandes áreas em substrato de aço ou de concreto.

EQUIPAMENTO

concrete scrabbler

steel deck scrabbler

http://www.trelawnyspt.com

VANTAGENS

Alta produtividade.

DESVANTAGENS

Pode causar microfissuras no substrato, e a superfície que resulta é muito irregular.

5.1.10 Pistola de Agulha (desincrustador)

http:// www.trelawnyspt.com

USOS MAIS COMUNS

Especial para a limpeza de superfícies metálicas, retirada de produtos de corrosão e pinturas.

Excelente para detalhar cantos e bordas de estruturas.

EQUIPAMENTO

Pistola eletromecânica dotada de agulhas, disponíveis em vários tamanhos, de funcionamento pneumático.

Requer um compressor de ar que proporcione pressão de 80 a 120 psi.

Needle scaling
http://www.trelawnyspt.com

VANTAGENS

Remove os produtos da corrosão (ferrugem) das armaduras, deixando a superfície na condição de «metal blanco».

DESVANTAGENS

Risco de danos às agulhas quando em contato com o concreto.

PROCEDIMENTO

Colocar a pistola em contato com a armadura ou chapa metálica e percorrer a área até que seja retirada toda a camada de corrosão ou tinta. Deve-se tomar cuidado para que o equipamento não entre em contato com o concreto.

Pode também ser utilizada em superfície submersa.

5.1.11 Jato de Areia Seca

http://www.ferjovi.com

USOS MAIS COMUNS

Preparo de áreas grandes e angulosas, remoção de nata de cimento, pó ou outros contaminantes.

EQUIPAMENTO

Compressor de ar, equipamento de jato de areia, abrasivo (areia), mangueira de alta pressão, bico direcional e, eventualmente, água.

A areia (de sílica ou escória de alto forno) utilizada deve ter uma granulometria adequada, deve ser lavada, isenta de materia orgânica e precisa estar seca no momento da utilização.

A areia usada no jateamento não é reutilizável.

http://www.iaf.es/enciclopedia

PROCEDIMENTO

Ver 5.1.12

DESVANTAGENS

Provoca elevado grau de sujeira e poeira no ambiente, requerendo o uso de máscara para proteção do operador.

Após a utilização do jato seco, é necessário proceder à limpeza de toda a superfície jateada com ar comprimido.

Não remove frações de espessuras superiores a 3 mm e, em certos casos, requer prévia escarificação.

VANTAGENS

Permite preparar superfícies que não são facilmente acessíveis por outros procedimentos (ângulos salientes, arestas, perfurações).

Alta produtividade.

5.1.12 Jato de Areia Úmida

PROCEDIMENTO

Consiste em projetar sobre a superfície de concreto ou aço em tratamento uma mistura de ar comprimido e abrasivo a alta pressão, geralmente superior a 5000 psi.

No caso do concreto, o abrasivo utilizado deve ser mais grosso que o utilizado para a limpeza de superfícies metálicas.

Para o caso de jato de areia e água, esta, proveniente de um tanque ou da rede, deve ser submetida a pressão por uma bomba e conduzida a um adaptador via uma mangueira de alta pressão. Manter o bico de jato numa posição perpendicular à superfície de aplicação. Movê-lo constantemente em círculos, distribuindo uniformemente o jato para melhor remoção de todos os resíduos que possam vir a prejudicar a aderência.

USOS MAIS COMUNS

Preparo de grandes áreas metálicas ou de concreto e áreas angulosas.

EQUIPAMENTO

Compressor de ar, equipamento de jato de areia, abrasivo (areia), mangueira para alta pressão, bico direcional e água. A água deve ser pressurizada por uma bomba e conduzida a um adaptador próprio pela mangueira de alta pressão.

A areia (de sílica ou escória de alto forno) utilizada deve ter uma granulometria adequada, deve ser lavada e isenta de materia orgânica. A areia usada no jateamento não é reutilizável.

DESVANTAGENS

No caso de superfícies metálicas, deve-se utilizar um inibidor de corrosão compatível com o revestimento que será aplicado para evitar a produção de óxido (ferrugem) por ação da água (*flash-rust*).

VANTAGENS

Permite preparar superfícies que não são facilmente acessíveis por outros procedimentos (ângulos salientes, arestas, perfurações).

Alta produtividade.

5.1.13 Disco de Corte

http:// www.trelawnyspt.com

USOS MAIS COMUNS

Retirada de rebarbas, delimitação do contorno da área de reparo, abertura de sulcos e ranhuras para o tratamento de fissuras.

EQUIPAMENTO

Máquina de corte dotada de disco diamantado, disponível em vários tamanhos.

http://www.handytoolstore.com

PROCEDIMENTO

Demarcar (com giz ou lápis de cera) a região de reparo.

Fazer o corte mantendo o disco em posição perpendicular à superfície.

DESVANTAGENS

Requer mão-de-obra especializada e acessórios adequados.

Dificuldade de acesso deste tipo de equipamento a certos lugares específicos.

Requer também controle cuidadoso da profundidade do corte para não danificar estribos e armaduras.

5.1.14 Queima Controlada

http://www.trelawnyspt.com

PROCEDIMENTO

Direcionar o maçarico de forma a facilitar a retirada das camadas de concreto desagregadas.

Procurar não ficar muito tempo na mesma posição para não aquecer muito a superfície e retirar indevidamente o concreto bom.

O método consiste em combinar oxigênio e acetileno para produzir uma chama que se aplica sobre a superfície do concreto para remover contaminantes, mastiques, membranas elásticas, pinturas e outros revestimentos usados na construção.

São necessárias temperaturas da ordem de 1760 °C a 3200 °C, e são produzidos vapores tóxicos acompanhando o desprendimento de alguns revestimentos.

USOS MAIS COMUNS

Preparo de áreas em que não há armadura exposta ou quando a espessura do cobrimento for superior a 30 mm.

EQUIPAMENTO

Maçarico para controlar a chama, tanque de combustível e mangueira para transportar o combustível do local de armazenamento até a área de trabalho.

http://www.chemicalproductsokc.com

VANTAGENS

Desagrega o concreto em camadas da ordem de 5 mm de espessura, eliminando impurezas como graxas, óleos e pinturas.

DESVANTAGENS

Exige mão-de-obra especializada e controle criterioso durante a execução (fiscalização).

5.1.15 Remoção de Óleos e Graxas Impregnados

http://www.hako.com.es

EQUIPAMENTO

O equipamento utilizado deverá ter escovas de cerdas duras, de preferência de polietileno, e a velocidade de rotação deverá ser superior a 300 rpm, que é uma velocidade suficientemente rápida para garantir a limpeza completa das irregularidades da superfície do concreto.

PROCEDIMENTO

A remoção de óleos, graxas e gorduras impregnados em concreto em profundidades superiores a 3 mm o uso dos procedimentos descritos em:

5.1.3 Escarificação mecânica,

5.1.5 Demolição,

5.1.14 Queima Controlada.

Após a escarificação do concreto, retirada do material solto e desligamento absoluto de fontes de calor e chamas, aplicar na superfície um removedor de graxas e limpador à base de solventes de alta penetração, adequadamente formulado para esta finalidade, que seja não corrosivo e biodegradaável.

Com este método consegue-se a remoção química de óleo, graxa e outros depósitos na superfície do concreto.

As regiões difíceis de alcançar, como as esquinas e os cantos, deverão ser preparadas manualmente.

5.1.16 Saturação Com Água

USOS MAIS COMUNS

Tratamento de superfícies de concreto antes da aplicação de argamassas e concretos de base cimento.

EQUIPAMENTO

Pulverizador, membrana de cura, mangueira perfurada, sacos de aniagem.

PROCEDIMENTO

Imergir totalmente a superfície a ser tratada por um período de pelo menos 12 horas antes de aplicar os produtos à base de cimento. Essa saturação pode ser conseguida com a construção de barreiras temporárias e mangueira com vazão contínua.

Em superfícies verticais, é necessário, quando a submersão for inviável, formar um filme contínuo de água na superfície com o auxílio de sacos de aniagem e mangueiras perfuradas.

Instantes antes da aplicação dos produtos, retirar a água e secar com estopa seca e limpa o excesso de água superficial, obtendo-se a condição de substrato saturado e superfície seca (não encharcada).

5.1.17 Máquina de Desbaste Superficial

http://www.trelawnyspt.com

USOS MAIS COMUNS

Preparo de grandes áreas horizontais, pisos e lajes onde há bom cobrimento da armadura e onde há necessidade de remoção de espessuras da ordem de 0,5 a 3 mm.

Pequenas máquinas manuais podem ser usadas em superfícies verticais.

PROCEDIMENTO

Pré-umedecer a superfície do concreto.

Movimentar o equipamento em faixas paralelas, procurando manter velocidade de movimentação constante.

EQUIPAMENTO

Politriz industrial com disco para desbaste de pisos, a úmido ou a seco. Escarificadoras ou fresadoras mecânicas (ver 5.1.3).

http://www.handytoolstore.com

DESVANTAGENS

Seu uso limita-se a superfícies horizontais e planas.

VANTAGENS

Alta produtividade. Retira espessuras elevadas de modo uniforme e eficiente.

5.2 Limpeza das Superfícies

A limpeza das superfícies é entendida como o conjunto de procedimentos efetuados sobre os elementos estruturais antes da aplicação dos materiais de reparo.

A Tabela seguinte reúne os principais procedimentos de limpeza.

Tabela 5.2 Procedimentos de limpeza

Item	Procedimento	Procedimento mais adequado para para quando se deseja, na próxima etapa			
		Concreto com superfície		***Aço com superfície***	
		seca	***úmida***	***seca***	***úmida***
5.2.1	Jato de água fria sob alta pressão	inadequado	adequado	inadequado	aceitável
5.2.2	Jato de água quente sob alta pressão	inadequado	adequado	inadequado	aceitável
5.2.3	Jato de água sob baixa pressão	inadequado	adequado	inadequado	aceitável
5.2.4	Vapor	inadequado	adequado	inadequado	aceitável
5.2.5	Soluções ácidas	inadequado	aceitável	inadequado	inadequado
5.2.6	Soluções alcalinas	inadequado	adequado	inadequado	adequado
5.2.7	Remoção de óleos e graxas superficiais	inadequado	inadequado	adequado	adequado
5.2.8	Jato de ar comprimido	adequado	aceitável	adequado	aceitável
5.2.9	Solventes voláteis	adequado	adequado	inadequado	aceitável
5.2.10	Aspiração a vácuo	adequado	inadequado	aceitável	aceitável

5.2.1 Jato de Água Fria sob Alta Pressão

USOS MAIS COMUNS

Limpeza de grandes e pequenas áreas.

EQUIPAMENTO

Mangueira de alta pressão, equipamento tipo lavajato e bico direcional.

http://www.handytoolstore.com

O equipamento consiste de bomba d'água, compressor de ar para produzir um mínimo de 85 cfm @ 120 psi, mangueiras de alta pressão, bicos adequados, equipamento de jato de água com rodas para deslocamento horizontal.

PROCEDIMENTO

Iniciar a limpeza pelas partes mais altas, procurando manter uma pressão adequada para a remoção de partículas soltas. Executar, de preferência, movimentos circulares com o bico de jato para facilitar a limpeza de toda a superfície.

Este método consiste em jatear água sob pressões entre 5.000 e 45.000 psi para remover incrustações de sujeira e material solto ou mal aderido.

Também pode ser usado para remover revestimentos epóxicos e uretanos, entre outros. É usado para remover capas carbonatadas.

DESVANTAGENS

Não é adequado quando os materiais de reparo requerem substrato seco para boa aderência.

Alto custo dos equipamentos.

VANTAGENS

Permite a limpeza da superfície, umedecendo-a ao mesmo tempo.

Não produz poeira ou gases, nem vibrações.

Alta produtividade.

5.2.2 Jato de Água Quente sob Alta Pressão

http:// www.hako.es

USOS MAIS COMUNS

Limpeza de grandes e pequenas áreas levemente contaminadas com gorduras.

EQUIPAMENTO

Mangueira de alta pressão, equipamento tipo lavajato e bico direcional.

http:// www.hako.es

PROCEDIMENTO

Iniciar a limpeza nas partes mais altas, procurando manter uma pressão adequada para a remoção de partículas soltas.

Executar, de preferência, movimentos circulares com o bico de jato para facilitar a limpeza de toda a superfície.

DESVANTAGENS

Não é adequado quando os materiais de reparo requerem substrato seco para boa aderência.

Requer proteção com luvas térmicas e operador qualificado.

Alto custo dos equipamentos.

VANTAGENS

Quando associado a removedores biodegradáveis, ajuda a eliminar impurezas orgânicas tais como graxas, óleos, pinturas, etc.

Não produz poeira ou gases, nem vibrações.

Alta produtividade.

5.2.3 Jato de Água sob Baixa Pressão

http:// www.igen.com

USOS MAIS COMUNS

Remoção de sujeira e materiais soltos, contaminantes solúveis em água na superfície e em cavidades superficiais.

Retirada de resíduos e escombros produzidos por outros métodos mais agressivos de preparo da superfície.

EQUIPAMENTO

Consiste basicamente de um motor, bomba de pressão e pistola de jato.

http:// www.igen.com

PROCEDIMENTO

Este método consiste em jatear água sob pressões inferiores a 5000 psi .

O impacto do líquido sobre a superfície abre canais ou perfurações, e a pressão da água acaba rompendo o concreto.

A profundidade de remoção é controlada ajustando-se a pressão da água e regulando o tempo em que o bico se mantém sobre a região de reparo.

5.2.4 Vapor

http:// www.igen.com

PROCEDIMENTO

Iniciar a limpeza nas partes mais altas, procurando manter uma pressão adequada para a remoção de partículas soltas.

Executar, de preferência, movimentos circulares com o bico para que o jato de vapor permita a limpeza de toda a superfície.

USOS MAIS COMUNS

Limpeza de grandes e pequenas áreas contaminadas com impurezas orgânicas e minerais (sais).

EQUIPAMENTO

Mangueira de alta pressão dotada de isolamento térmico para evitar perda de calor, bico direcional e caldeira para geração de vapor.

VANTAGENS

Elimina impurezas minerais e orgânicas como graxa, óleo, pintura, etc.

Para obter melhores resultados, deve ser associado a removedores biodegradáveis.

DESVANTAGENS

Exige operador especializado.

Alto custo inicial do equipamento.

5.2.5 Lavagem Com Soluções Ácidas

http:// www.hako.es

PROCEDIMENTO

Antes da aplicação, saturar a estrutura com água limpa para evitar a penetração do ácido no concreto são.

Preparar a solução de ácido muriático diluído conforme orientação do fabricante do produto.

Aplicar a solução para remover a capa superficial de pasta de cimento até expor o agregado miúdo.

Imediatamente após a reação, lavar a estrutura com água limpa em abundância, para a remoção de partículas sólidas e resíduos da solução utilizada.

DESVANTAGENS

Recomendável apenas para tratamentos de limpeza superficial, tendo em conta a possibilidade de infiltração irreversível de agentes ácidos na estrutura.

USOS MAIS COMUNS

Limpeza de grandes áreas antes de aplicar algum revestimento como: seladores, revestimentos epóxicos, uretanos, acrílicos e alcalinos, onde preferencialmente não haja armadura exposta ou muito próxima à superfície.

Remoção de tintas e ferrugem de metais, ferramentas, etc.

EQUIPAMENTO

O equipamento deverá ter um recipiente para armazenar a solução ácida, um sistema aplicador da solução de baixa pressão com pulverizador de plástico e uma máquina para lavar piso equipada com escovas abrasivas.

Em áreas pequenas, poderá ser utilizada brocha, trincha ou esfregão.

A efervescência é sinal de descontaminação.

VANTAGENS

Remove da superfície da estrutura materiais indesejáveis como carbonatos, eflorescências, resíduos de cimento, impurezas orgânicas, etc., melhorando as características aderentes do substrato.

5.2.6 Lavagem Com Soluções Alcalinas

PROCEDIMENTO

Saturar a estrutura com água limpa para evitar a infiltração da solução alcalina, que poderá modificar as características do concreto.

Aplicar a solução simultaneamente à lavagem da estrutura com uma mangueira de água.

As regiões difíceis de alcançar, como as esquinas e os cantos deverão ser preparadas manualmente.

A velocidade de rotação do equipamento deverá ser superior a 300 rpm, suficientemente rápida para assegurar a limpeza completa das irregularidades da superfície do concreto.

VANTAGENS

Neutraliza especialmente a estrutura que esteve sujeita ao ataque ácido, melhorando as condições de aderência do substrato.

O método não é agressivo à armadura e não requer equipamento especial.

USOS MAIS COMUNS

Preparo de grandes áreas que contêm resíduos ácidos impregnados.

Também se aplica à limpeza de fungos e musgos.

EQUIPAMENTO

Pulverizador, brocha, trincha ou esfregão, equipamento industrial.

O equipamento utilizado deverá ser dotado de escovas de cerdas duras, de preferência de polietileno.

http://www.zingméxico.com

DESVANTAGENS

Se houver a presença de agregados reativos no concreto, pode provocar expansão devido à reação álcali-agregado.

Não é eficaz na remoção de produtos provenientes da corrosão da armadura.

Dificulta a aderência de certos produtos à base de resina epóxi.

5.2.7 Remoção De Óleos e Graxas Superficiais

USOS MAIS COMUNS

Limpeza de superfícies horizontais (pisos) levemente contaminadas, em espessuras menores que 2 mm.

EQUIPAMENTO

Equipamento eletromecânico, vassoura, esfregão, trincha e brocha.

http://www.hako.es

PROCEDIMENTO

Aplicar um removedor/limpador diretamente sobre as áreas afetadas, deixando-o reagir por cerca de 20 min.

Em seguida, lavar a região com água em abundância usando um esfregão ou vassoura para remover partículas sólidas e resíduos do produto utilizado.

VANTAGENS

Não requer equipamento especial.

Quando o produto é selecionado corretamente, não ataca o concreto nem a armadura.

DESVANTAGENS

Não consegue remover gorduras e óleos impregnados profundamente (mais de 2 mm); neste caso haveria necessidade de realizar:

5.1.3 Escarificação Mecânica
5.1.14 Queima Controlada,

de acordo com o grau de contaminação.

5.2.8 Jato De Ar Comprimido sob Pressão

http://www.trelanyspt.com

PROCEDIMENTO

Havendo cavidades, colocar no seu interior a extremidade da mangueira, executando a limpeza do interior para o exterior.

Uma vez limpas, as cavidades devem ser vedadas com papel, procedendo-se então à limpeza da superfície remanescente.

USOS MAIS COMUNS

Remoção de pó após os procedimentos de preparo, como escarificação, escova de aço ou jato de areia.

Também é usado quando for aplicada na superfície resina de base epóxi, que requer substrato seco e limpo.

EQUIPAMENTO

Mangueira de alta pressão e compressor dotado de filtro de ar e de óleo para garantir ar descontaminado.

VANTAGENS

Remove o pó e possibilita, logo em seguida, a aplicação de adesivo estrutural base epóxi, desde que o substrato esteja seco. Adequado para limpeza de fissuras, antes da execução de procedimentos de injeção de grautes ou resinas para o restabelecimento do monolitismo ou integridade estrutural.

DESVANTAGENS

É inadequado para superfícies úmidas.

5.2.9 Solventes Voláteis

http:// www.trelanyspt.com

USOS MAIS COMUNS

Limpeza de superfícies de concreto ou de aço instantes antes da aplicação de resinas de base epóxi.

VANTAGENS

Retira ácido úrico (mãos), contaminações superficiais de gordura, graxa, tinta e óleo.

Por ser altamente volátil, evapora levando partículas de água da superfície e conseqüentemente auxilia na secagem superficial.

PROCEDIMENTO

Aplicar o produto (acetona industrial) com estopa, pincel ou algodão nas superfícies e executar movimentos adequados para a retirada de eventuais resíduos e contaminações.

DESVANTAGENS

É um produto inflamável e muito volátil (perda por evaporação).

5.2.10 Aspiração a Vácuo

EQUIPAMENTO

Várias opções: aspirador de pó industrial compacto, de alta potência, especialmente projetado e equipado para aspirar pó de concreto

USOS MAIS COMUNS

Limpeza a seco de superfícies de concreto adequadas para receber adesivos e pontes de aderência que exigem substrato seco.

http://www.handytoolstore.com

http://www.trelawnyspt.com

PROCEDIMENTO

Aspirar cuidadosamente as áreas que serão tratadas mantendo a boca do aspirador próxima (± 2 mm) à superfície do concreto.

VANTAGENS

Retira partículas pequenas (pó).

Ideal para locais fechados (sem ventilação).

DESVANTAGENS

Não retira partículas grandes nem úmidas.

CAPÍTULO 06

Procedimentos de Reparo

CAPÍTULO 06

Procedimentos de Reparo

Autores
Gaby Quesada

INTRODUÇÃO

Embora a recuperação das estruturas seja necessária e a cada dia adquira maior importância por numerosas razões sociais, técnicas e econômicas, ainda existe muita incerteza com relação à confiabilidade e efetividade dos trabalhos que freqüentemente são executados.

O sucesso da recuperação de estruturas de concreto deterioradas depende basicamente do diagnóstico, da avaliação estrutural e de uma correta estratégia de reparo que defina os objetivos e conseqüentemente os sistemas e procedimentos a partir dos requisitos da estrutura e das expectativas definidas para seu uso ou aprimoramento. Com a evolução da pesquisa e da prática, cada vez mais aumenta o conhecimento sobre esses assuntos, e temos à nossa disposição novos materiais e técnicas para conseguir uma obra de recuperação efetiva e durável, porém a difusão do conhecimento não está ainda ao alcance de todos os profissionais que atuam ou têm alguma relação com a manutenção preventiva ou corretiva das obras civis.

O objetivo deste capítulo é oferecer um guia conceitual de orientação de procedimentos aos projetistas, construtores e fiscais para a execução da recuperação estrutural, e este guia compreende a metodologia para a análise, a estratégia e o projeto de recuperação, assim como a descrição dos diferentes sistemas e procedimentos de reparo que nos permitam restabelecer a capacidade resistente de uma estrutura com soluções duradouras. Não se pretende substituir o estudo e o projeto de recuperação, nem o senso crítico do profissional encarregado do projeto.

Os princípios básicos para estabelecer os procedimentos de recuperação requerem:

- consciência do problema e conhecimento de como resolvê-lo,
- formação adequada, atualização e experiência prática do profissional,
- cautela ao definir técnicas e procedimentos quando se tem a liberdade de trabalhar em assunto não normalizado, o que acarreta maior responsabilidade que nos casos habituais, dado que a intervenção se baseará no conhecimento do tema e no senso profissional do engenheiro.

6.1 Diagnóstico e Avaliação Estrutural

Previamente à decisão sobre o tipo de recuperação de uma estrutura, deverá ser feito um diagnóstico e uma avaliação estrutural. Com relação ao diagnóstico, o Capítulo 2 «Orientação para o Diagnóstico» deste manual apresenta a orientação básica de como proceder, porém é sempre aconselhável que uma inspeção e diagnóstico sejam realizados por um especialista.

A avaliação estrutural permitirá estabelecer a capacidade da estrutura em sua condição atual e real e analisar a possibilidade de levá-la a uma outra condição desejada. Esta deve ser realizada pelas seguintes razões:

a) para determinar a capacidade estrutural e a integridade da estrutura ou de seus elementos. Possíveis resultados:

   - a estrutura ou elementos são adequados para o uso previsto,
   - a estrutura ou elementos são adequados para as cargas atuais porém não para o fim previsto, ou
   - a estrutura não é adequada para as cargas atuais.

b) para avaliar problemas estruturais ou provenientes de um uso inadequado ou não previsto, sobrecargas, projeto inadequado, defeitos construtivos, etc.

c) para determinar a factibilidade de modificar a estrutura para que satisfaça as normas vigentes,

d) para determinar a factibilidade de uma mudança de uso da estrutura ou de alguma adaptação,

e) para determinar as ações imediatas para compatibilizar a condição que afeta a segurança ou estabilidade da estrutura.

6.2 Análise da Recuperação

O processo para resolver um problema de deterioração em concreto inclui a análise, a estratégia e o projeto de recuperação, e as recomendações mais abrangentes podem ser obtidas no Capítulo 3 «Orientação para a Seleção da Intervenção».

A informação necessária para a análise é constituída pelos resultados do diagnóstico (inclusive causa e efeito da anomalia) e da avaliação da capacidade da estrutura, junto com a informação relativa às necessidades do usuário/proprietário e os requisisitos gerais:

a) necessidades do usuário/proprietário

- vida útil
- urgência
- custo
- requisitos de desempenho: proteção, aparência, capacidade de carga
- uso
- estética
- operação vs recuperação

b) requisitos gerais

- requisitos estruturais
- efeito da recuperação sobre a estrutura
- construtibilidade
- meio ambiente
- segurança

O processo de análise da recuperação é justamente para precisar a função da recuperação, ou seja, o que se espera dela.

6.3 Estratégia de Reparo

Nesta etapa é definido o objetivo da recuperação, após haver analisado as diferentes alternativas com base em parâmetros técnicos e econômicos, e assim decide-se a conveniência de reparar ou modificar a estrutura até levá-la a uma condição de desempenho desejada.

Para efeitos de um entendimento claro no uso dos termos reparar e reforçar, vamos esclarecer seu significado:

- *reparar:* substituir ou corrigir materiais, componentes ou elementos de uma estrutura deteriorados, danificados ou defeituosos.
- *reforçar:* aumentar ou restabelecer a capacidade de uma estrutura ou de uma parte dela.

É claro que a seleção contempla tanto a operação atual da estrutura quanto a futura. Se for necessário o reforço, consultar o Capítulo 8 «Procedimentos de Reforço», onde são descritos os métodos alternativos para isto.

Se for factível trazer a estrutura de volta a sua capacidade resistente original,

aplicando critérios de durabilidade, poderão ser aplicados os procedimentos expostos no presente capítulo.

Objetivos do reparo

- Restaurar a segurança e capacidade da estrutura restabelecendo as características previstas no projeto e corrigindo vícios de construção.
- Conferir atributos de durabilidade compatíveis com a importância da estrutura, do meio e da vida útil.

O conceito de reparo está ligado ao de proteção conforme detalhado no Capítulo 9 «Proteção e Manutenção de Estruturas de Concreto».

6.4 Projeto de Recuperação

O projeto final de recuperação dependerá da decisão feita entre reparar ou reforçar. Qualquer das duas fornecerá uma solução com base em considerações de:

- capacidade estrutural
- durabilidade
- construtibilidade
- compatibilidade com a estrutura existente
- compatibilidade com o meio

Este projeto será representado por um projeto de recuperação que deve incluir a informação seguinte:

- plantas e desenhos dos reparos
- especificações técnicas
- detalhes de reforço das estruturas
- detalhes construtivos
- plantas da construção original e toda informação relativa à obra e à vida em serviço da estrutura.
- procedimentos de controle de qualidade
- normas técnicas
- sistema de proteção superficial
- recomendações para manutenção futura.

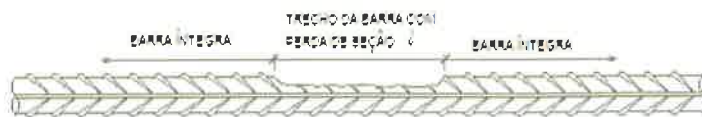
As plantas e especificações técnicas deverão considerar a extensão do reparo, e assim deverão definir claramente os materiais e procedimentos a serem empregados. Em suma, o projeto deverá responder às perguntas:

O que reparar? Como reparar?

- Preparo e limpeza do substrato conforme apresentado no Capítulo 5 «Preparo e Limpeza do Substrato».
- Tratamento da armadura conforme apresentado nas Figs. 6.5.1 a 6.5.5.
- Garantia da aderência com o substrato conforme apresentado na Fig. 6.5.6.
- Proteção superficial do concreto conforme apresentado no Capítulo 9 «Proteção e Manutenção de Estruturas».

A seguir, são apresentadas as figuras correspondentes à seqüência de todas as etapas dos procedimentos recomendados.

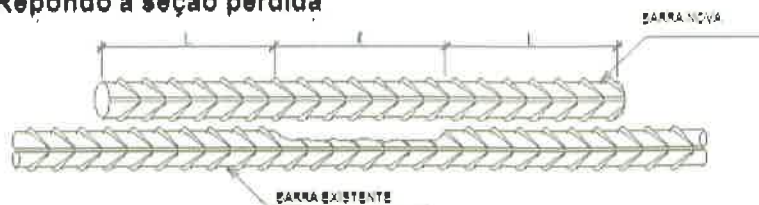
Figura 6.5.1. Tratamento da armadura.

BARRA ÍNTEGRA
TRECHO DA BARRA COM PERDA DE SEÇÃO
BARRA ÍNTEGRA

1 - EMENDA POR TRASPASSE

A) Repondo a seção perdida

BARRA NOVA
BARRA EXISTENTE

B) Substituindo toda a seção

BARRA NOVA
BARRA EXISTENTE
CORTE E RETIRADA DA BARRA

CASO A

CASO B

Figura 6.5.2. Reparo com emenda da armadura por traspasse.

N.T.: *Conforme item 9.5 da NBR 6118/2004 "Projeto de estruturas de concreto-Procedimento".

2 - EMENDA POR SOLDA

A) Repondo a seção perdida

B) Substituindo toda a seção

BARRA EXISTENTE

CORTE E RETIRADA DA BARRA

BARRA NOVA

ÂNGULO ADICIONAL

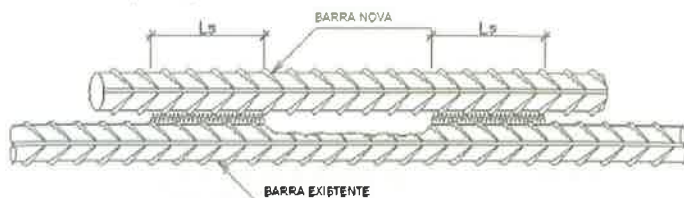
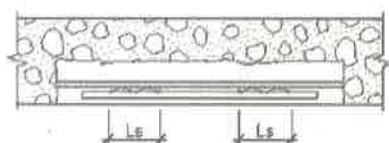
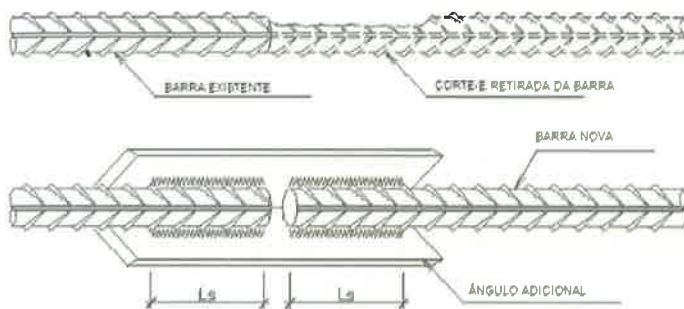
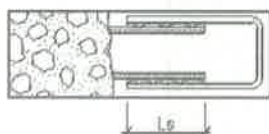
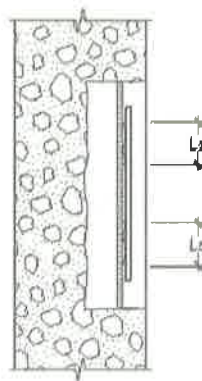
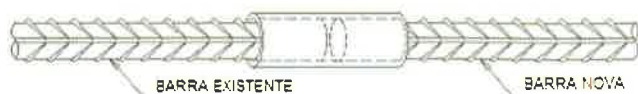
Ls Ls

SEÇÃO

EM LAJES

EM SEÇÕES

EM PILARES

Figura 6.5.3 Reparo com emenda da armadura por solda.

N.T.: *Conforme item 9.5 da NBR 6118/2004 "Projeto de estruturas de concreto-Procedimento".

3 - LUVAS DE PRESSÃO

4 - ANCORAGEM DE BARRAS NOVAS

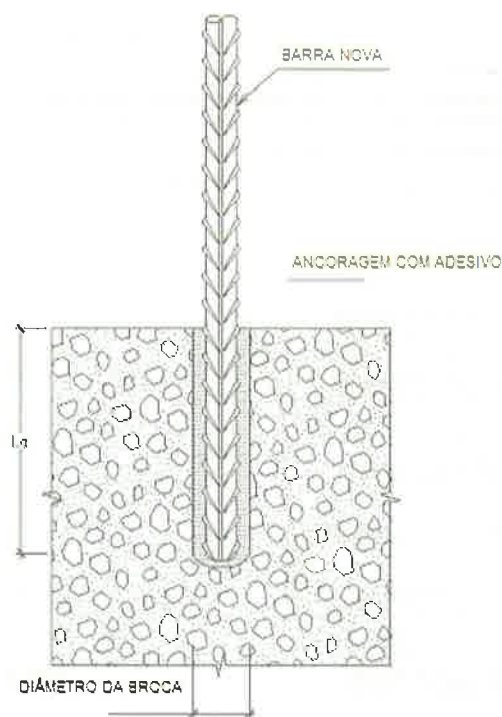



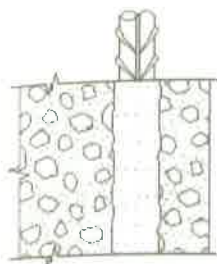
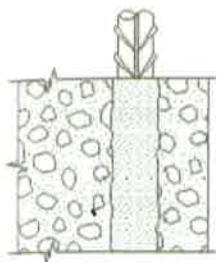
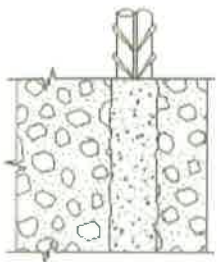
Figura 6.5.4. Reparo com emenda mecânica (luva de pressão) da armadura e ancoragem química.

N.T.: *Conforme item 9.5 da NBR 6118/2004 "Projeto de estruturas de concreto-Procedimento".

Figura 6.5.5. Proteção da armadura.

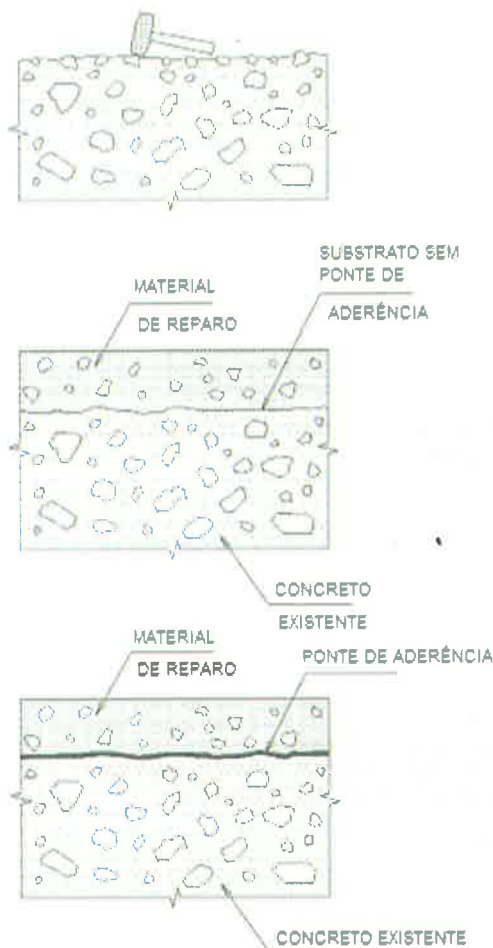



Figura 6.5.6. Condições para a aderência com o substrato.

6.6 Técnicas de Aplicação do Material de Reparo

6.6.1 Montagem de fôrma e preenchimento convencional (Fig. 6.6.1)

É um dos métodos de reparo mais empregados, e consiste na montagem de fôrma na região de reparo e o preenchimento da cavidade preparada com o material de reparo.

Uso

Emprega-se, principalmente, em reparos profundos de superfícies verticais.

Características do material

Com fluidez necessária para ser colocado dentro da fôrma.

De baixa retração.

A seleção depende das condições no canteiro de obra: desempenho vs. construtibilidade.

Características das fôrmas

As fôrmas deverão permitir o acesso do material na cavidade, com o auxílio de calhas ou «cachimbos», e a eliminação de bolhas de ar mediante o uso de tubos ou respiradores.

No caso de ser necessária a aplicação de uma ponte de aderência, deverá ser prevista a montagem rápida das fôrmas.

Apliçação do material

A técnica de colocação do material é a mesma que se pratica em qualquer concretagem convencional.

A consolidação do material é conseguida por meio de qualquer das técnicas seguintes:

- Lançamento do material por gravidade e vibração interna (vibrador).
- Aplicação do material e compactação com soquete (ou equivalente).
- Mediante vibração externa da fôrma.
- Emprego de material fluido e autoadensável.

A compactação deverá remover o ar e prover contato íntimo com o substrato da estrutura existente.

Quando o preenchimento completo é difícil, pode-se completar o reparo com o sistema *dry pack*[1].

---

[1]N.T.: Não deve ser confundida a técnica do cimento injetado na fôrma com o agregado pré-colocado, o *prepack* descrito no item 6.6.4, com a técnica de encunhamento de argamassa seca e agregado em camadas, o *dry pack* descrito no item 6.6.3

Cura

Úmida durante 7 dias.

Equipamento e ferramental

Misturador (de argamassa)
Vibrador/soquete/marreta
Carrinho de mão/recipientes

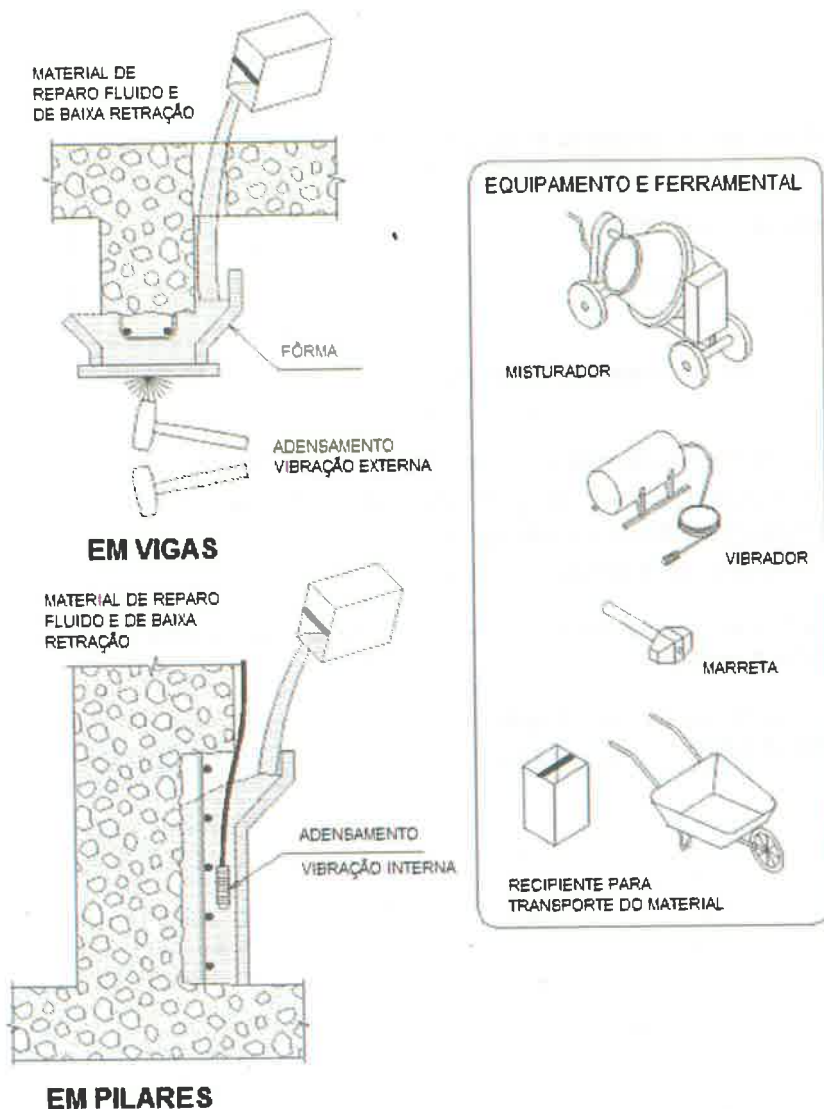



Figura 6.6.1. Montagem de fôrma e preenchimento convencional.

6.6.2 Montagem de fôrma e bombeamento (Fig. 6.6.2)

É um método de reparo que compreende a montagem de fôrma e o bombeamento do material de reparo dentro do volume ou cavidade completamente confinada pela fôrma e pelo substrato de concreto existente.

Uso

Emprega-se em reparos profundos de áreas verticais e horizontais sobrecabeça. É uma técnica alternativa à do concreto projetado e à da pré-colocação do agregado seguida de grauteamento (o *prepack*).

Características do material

Esta técnica permite o uso de diferentes materiais de reparo que cumpram com o requisito de serem bombeáveis. Podem ser argamassas ou concretos de diferentes tamanhos de agregado.

De baixa retração.

Características das fôrmas

A fôrma deve confinar totalmente a cavidade a reparar.

Deve ser prevista a instalação de tubos de entrada do material e de ventilação ou respiradores nas fôrmas, assim como de válvulas ou dispositivos de fechamento.

Aplicação do material

- A técnica de aplicação consiste no bombeamento do material de reparo para dentro da cavidade preparada.
- A seqüência de bombeamento é de vital importância para garantir o preenchimento completo da cavidade. Em superfícies verticais, inicia-se pelos pontos baixos e prossegue-se para os altos; em superfícies horizontais vai-se de um extremo ao outro.
- O adensamento do material é obtido pela pressão de bombeamento.
- Quando a cavidade está completamente preenchida, são fechadas as válvulas.

Cura

As fôrmas protegem o material de reparo durante o processo de cura por 7 dias.

Equipamento e ferramental

Bomba para o transporte e colocação do material de reparo. O tipo de bomba dependerá do traço do material, principalmente do tamanho do agregado.

Vantagens

- Permite o emprego de diversos materiais: desde argamassas com agregados miúdos até concreto de agregado graúdo.
- Seu emprego não está limitado pela profundidade e/ou extensão do reparo nem pelas dimensões ou densidade de armaduras.
- Proporciona uma seção uniforme, sem segregação.
- O material é suportado pela fôrma durante a aplicação e cura.

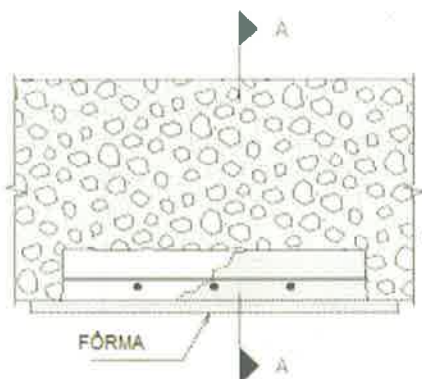
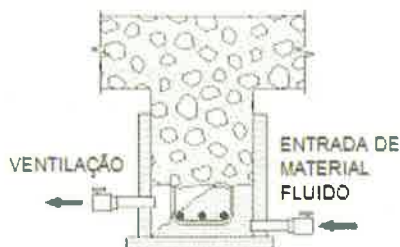
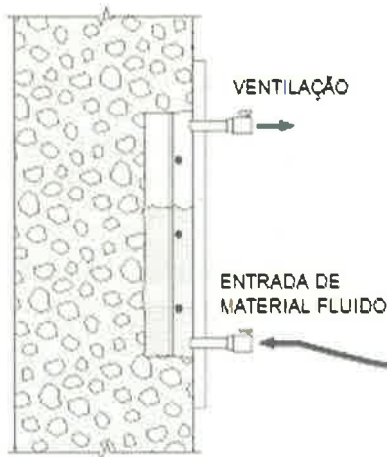



Figura 6.6.2. Montagem de fôrma e bombeamento.

6.6.3 *Dry pack*, encunhamento de argamassa seca (Fig. 6.6.3)

É um método manual de aplicação do material de reparo mediante o encunhamento de camadas sucessivas dentro do volume ou cavidade preparada.

Uso

Emprega-se em reparos localizados e profundos, em posição vertical e horizontal sobrecabeça.

Características do material

- Argamassa ou concreto de *slump* zero ou quase zero.
- Consistência seca, que permita ser moldado como uma bola coesiva, sem umidade excessiva.
- Retração compensada, boa aderência, elevada resistência, baixa permeabilidade.

Aplicação do material

- Aplica-se a primeira camada de argamassa exercendo pressão contra o substrato e a fôrma. A espessura da camada deve ser a máxima especificada pelo fabricante.
- Faz-se a compactação do material com o duplo propósito de:
  1) tornar o material compacto;
  2) promover a aderência através do contato íntimo com o concreto existente.
- Aplica-se a camada seguinte, faz-se a compactação, e assim sucessivamente até preencher a cavidade.

Cura

Úmida durante 7 dias.

Equipamentos e ferramental

Misturador (de argamassa)

Soquete ou marreta

Desempenadeira

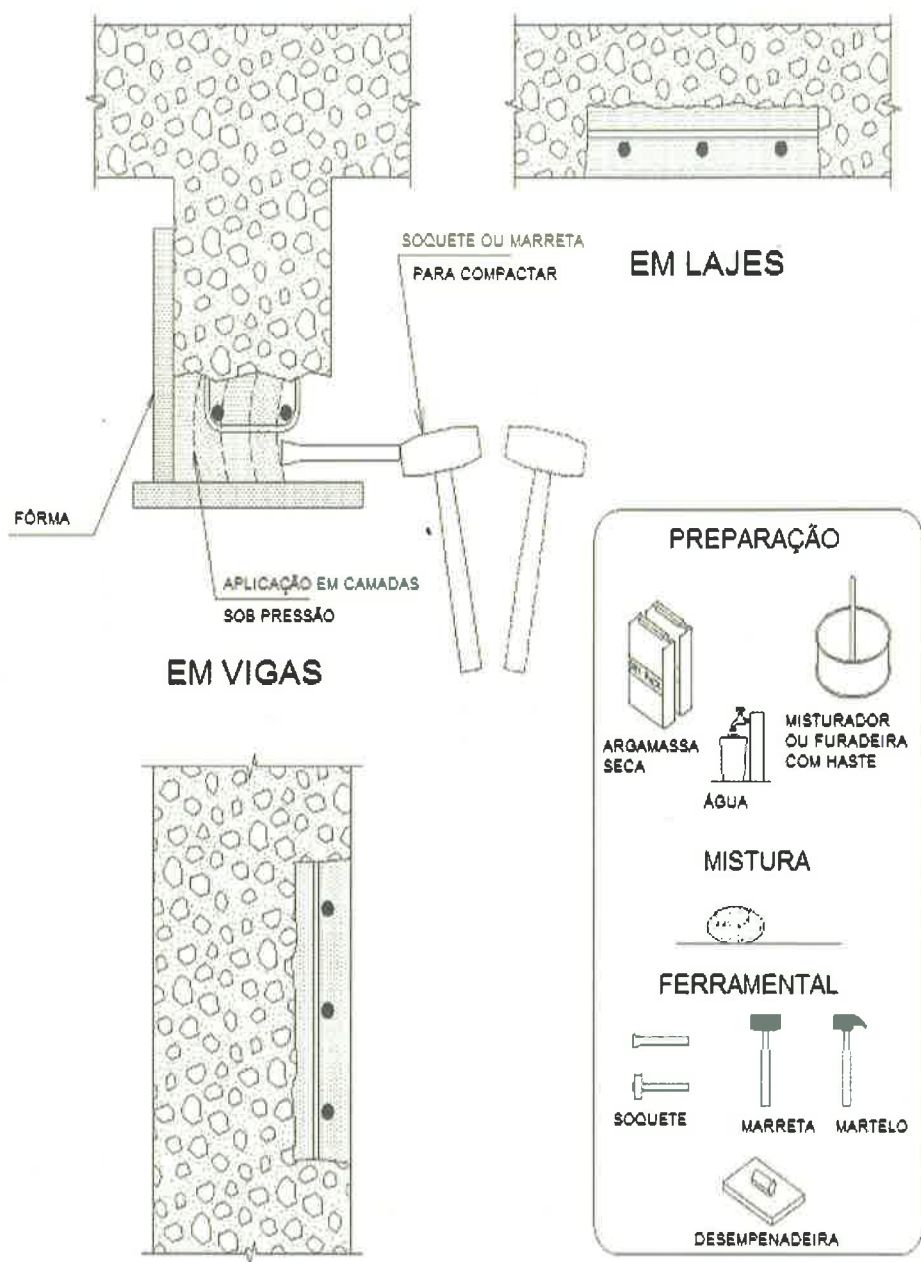



Figura 6.6.3. *Dry pack*, encunhamento de argamassa seca.

6.6.4 Agregado pré-colocado e grauteamento (Fig. 6.6.4)

É um método de aplicação do material de reparo em dois passos: colocação do agregado graúdo na cavidade e posterior preenchimento com graute[1].

Uso

Emprega-se principalmente em reparos profundos de áreas verticais.

Características do material

- O agregado graúdo deve ser lavado, isento de finos ou partículas que inibam a aderência.
- O graute ou concreto reoplástico deve ser muito fluido.

Características das fôrmas

- Devem confinar totalmente a cavidade de reparo.
- Devem possibilitar o acesso do graute na cavidade e a eliminação de bolhas de ar mediante a instalação de tubos roscados e válvulas.

Aplicação do material

- Colocação do agregado graúdo, previamente lavado, dentro da cavidade até obter um teor de vazios da ordem de 40 a 50 %.
- Bombeamento do graute muito fluido, a partir do ponto mais baixo, preenchendo os espaços entre os agregados, num processo progressivo, até preencher toda a cavidade.
- Caso a extensão do reparo exija a instalação de maior número de bicos, faz-se o bombeamento do 1º ponto mais baixo até que o graute flua para o 2º bico; desconecta-se o 1º bico e se reconecta a bomba no 2º bico, e assim sucessivamente. O processo continua até que a cavidade esteja preenchida e pressurizada.
- O adensamento do material é obtido pela pressão de bombeamento.

Cura

As fôrmas protegem o material de reparo durante o processo de cura. Caso seja feita a desforma antes dos 7 dias, fazer a cura úmida ou com membrana de cura química.

Equipamento

Bomba para o transporte e aplicação do graute.

---

[1]N.T.: Técnica também conhecida como *prepack*.

Vantagens

O método proporciona um material de reparo de baixa retração de secagem devido ao contato entre os agregados.

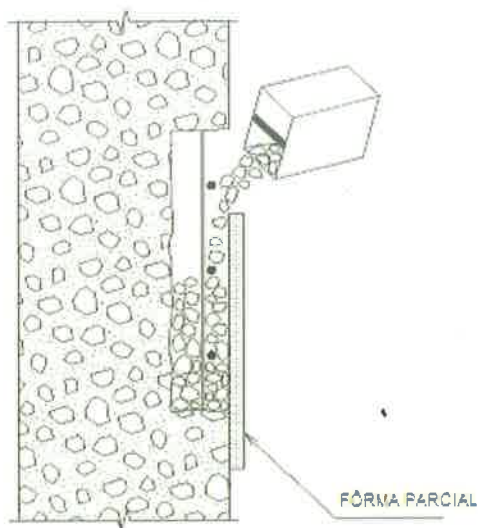
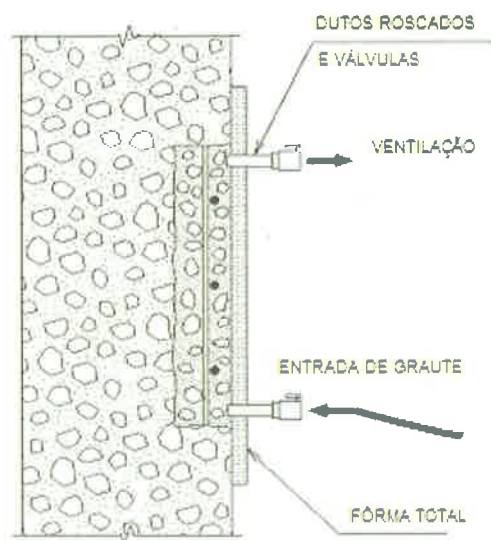



Figura 6.6.4. Agregado pré-colocado e grauteamento.

6.6.5 Concreto projetado via seca (Fig. 6.6.5)

É um método de aplicação do material de reparo, o qual é projetado pneumaticamente em alta velocidade sobre o substrato da estrutura existente. Este método compreende a pré-mistura e o transporte do aglomerante e agregados secos, a mistura com água no bico de projeção, e a projeção do produto final sobre o substrato preparado.

Uso

Emprega-se em reparos superficiais e estruturais (profundos), tanto em áreas verticais e inclinadas como em horizontais.

Características do material

- Concreto ou argamassa com aditivos e adições.
- Requer o uso de aditivos e adições para melhorar a trabalhabilidade e o desempenho do concreto projetado; por exemplo, a microssílica e o metacaulim melhoram as propriedades de aderência e coesão do concreto permitindo a aplicação em maiores espessuras, aumentam a resistência à flexão e compressão, assim como a durabilidade frente ao ataque químico e efeito gelo-degelo.
- Deve ser evitado o uso de aceleradores químicos quando não forem absolutamente necessários, porque aumentam a retração de secagem.

Aplicação do material

A técnica de aplicação compreende os passos seguintes:

- Pré-mistura do aglomerante e dos agregados, fibras e/ou outras adições.
- Transporte por ar comprimido do material pré-misturado através do magote até o bico de projeção.
- Mistura no bico de projeção da água e acelerador com o aglomerante e agregados, e projeção do material sobre a superfície preparada de concreto.
- Se a espessura do reparo for grande, faz-se a aplicação por camadas.

Cura

Curar via úmida durante 14 dias ou pulverizar membrana. Proteger o reparo nos primeiros 2 dias contra a irradiação solar.

Equipamento

- Máquina para projeção de concreto - ver esquemas.
- Compressor.

Desvantagens

- Não mantém uma relação constante água/cimento, já que na aplicação de água, intervém o critério do operador.
- O rebote ou reflexão irregular ocasiona uma estrutura com material de graduação descontínua e a presença de vazios ou bolsas de areia por trás do reforço.
- Tipicamente é produzida fissuração por retração causada pelo alto teor de cimento, cura inapropriada ou teor excessivo de água.

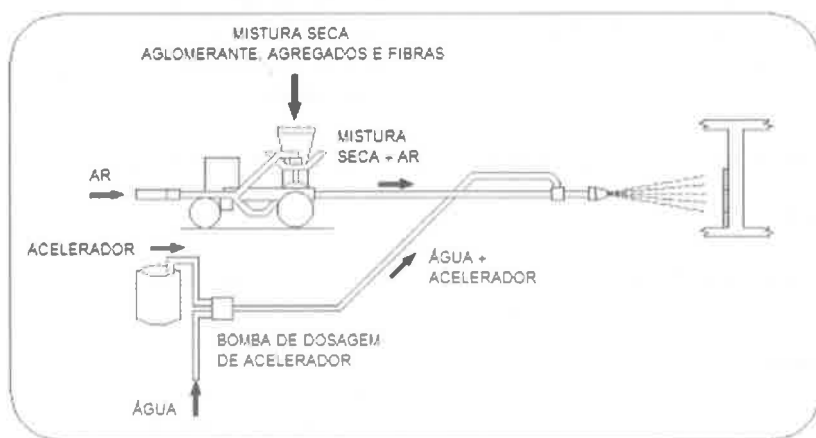
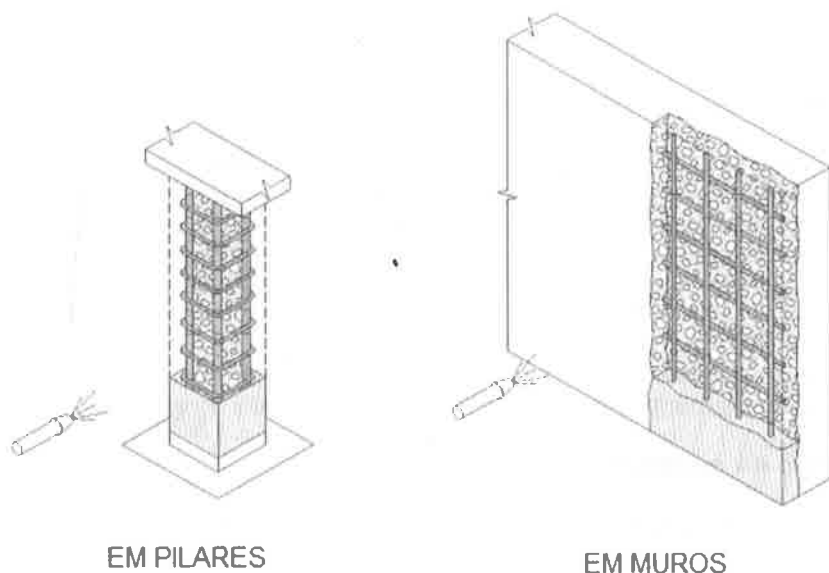



Figura 6.6.5. Concreto projetado via seca.

6.6.6 Concreto projetado via úmida (Fig. 6.6.6)

É um método de aplicação do material de reparo, o qual é projetado pneumaticamente em alta velocidade sobre o substrato da estrutura existente. Este método compreende a pré-mistura e o transporte do aglomerante, agregados, aditivos, adições e água, a introdução do acelerador (se necessário) no bico de projeção, e a projeção do produto final sobre o substrato preparado.

Uso

Emprega-se em reparos superficiais e estruturais (profundos), tanto em áreas verticais e inclinadas como em horizontais.

Características do material.

- Concreto ou argamassa com aditivos e adições.
- Requer o uso de aditivos e/ou adições: por exemplo, a microssílica e as fibras melhoram a durabilidade.
- Deve ser evitado o uso de aceleradores químicos quando não forem absolutamente necessários, porque aumentam a retração de secagem.

Aplicação do material

A técnica de projeção via úmida compreende os passos seguintes:

- Pré-mistura de todos os ingredientes, exceto aceleradores: aglomerante + agregados + aditivos + adições + água.
- O material pré-misturado é transportado pela bomba através do mangote até o bico de projeção, onde entra o acelerador (se necessário) e se introduz o ar comprimido.
- A mistura é projetada sobre o substrato da estrutura existente.
- Se a espessura do reparo for grande, faz-se a aplicação por camadas.

Cura

Curar via úmida durante 14 dias ou pulverizar membrana. Proteger o reparo nos primeiros 2 dias contra a irradiação solar.

Equipamento

- Máquina para projeção de concreto.
- Compressor.

Vantagens sobre o concreto projetado via seca:

- Tem-se control da água, consistência e dosagem.
- Redução do rebote.
- Diminuição da dispersão na resistência.
- Menor consumo de cimento e menor retração.

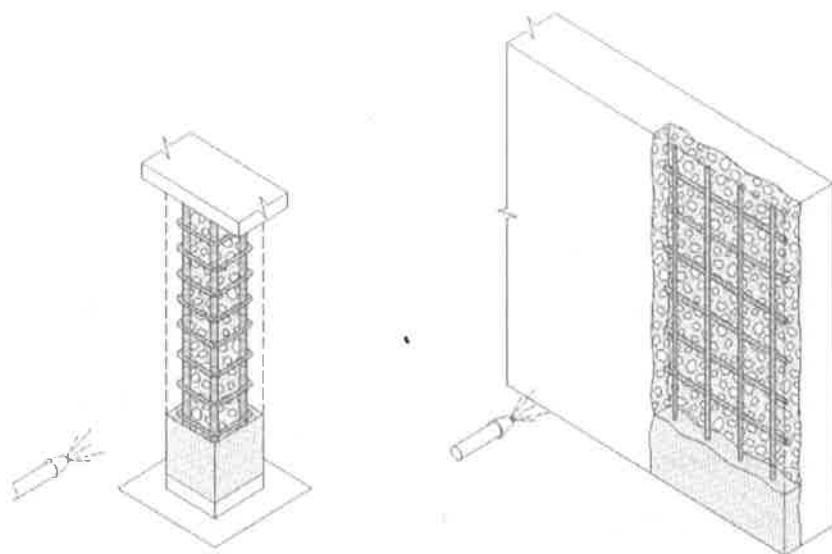
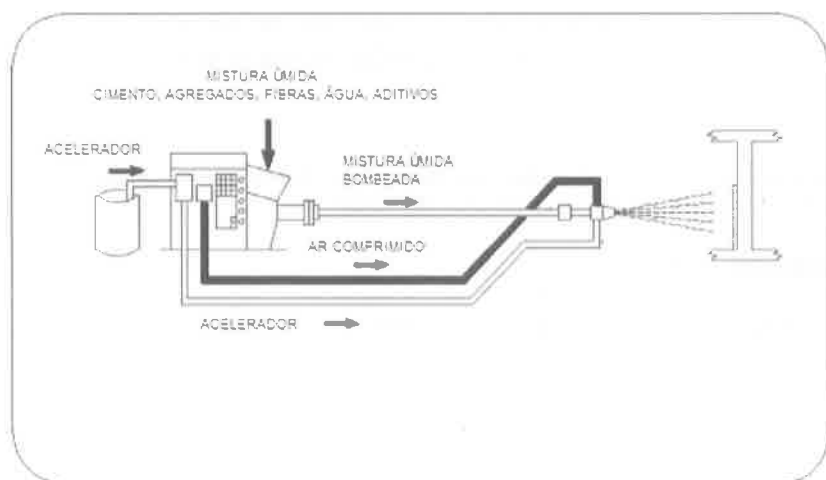



Figura 6.6.6. Concreto projetado via úmida.

6.6.7 Injeção de fissuras e/ou trincas (Fig. 6.6.7)

É um método de reparo que consiste em injetar fissuras e/ou trincas passivas (ou mortas) no concreto com um material adesivo de baixa viscosidade, que após endurecido permite recuperar as propriedades da estrutura.

Uso

É empregado no reparo de fissuras e/ou trincas, superficiais e profundas (não passantes e passantes), tanto em áreas horizontais quanto verticais, em qualquer posição.

Características do material

Injeção:

- Os adesivos mais usados para este tipo de reparo são as resinas epóxi e os metacrilatos.
- Devem ser de baixa viscosidade e injetáveis.
- Não são aplicáveis sob temperaturas maiores que 30 ºC.
- Selamento ou calafetação: além do material de injeção, emprega-se um adesivo para confinar a resina na trinca e fixar os tubos de injeção.

Preparo da superfície

- A superfície deverá estar sã e limpa, e poderá ser preparada mediante hidrojateamento de alta pressão ou por jato de areia seguido de jato de ar comprimido.
- Superfície seca, ou substrato saturado e superfície seca.
- Limpeza do interior da trinca com água e ar sob pressão após a colocação do selo superficial.

Fixação de bicos de injeção e selamento superficial

- Colocar bicos na superfície, ao longo da trinca. Se for passante, colocar em ambas as faces.
- Selar (calafetar) superficialmente toda o comprimento da fissura.
- Verificar com ar comprimido a comunicação entre bicos.

Aplicação do material de reparo

- Injetar o material sob pressão constante no interior da fissura.
- Começar pelo bico de injeção mais baixo de cada fissura e continuar até que o material apareça no bico adjacente.
- Fechar o primeiro bico antes de iniciar a injeção no seguinte, até que o material volte a fluir no próximo ponto.

- Se a fissura for passante, verificar se o material aparece no bico oposto mais próximo. Fechar este bico e prosseguir a injeção. Se a resina não aflorar pelo bico oposto, faz-se a injeção por ambas faces.
- Continuar a seqüência até completar o reparo.

Acabamento

Assim que o material de injeção curar, retirar o selo com disco de corte, e dar acabamento com argamassa polimérica base cimento de baixa retração.

Equipamentos e ferramental

- Furadeira de baixa rotação com haste de mistura acoplada.
- Equipamento de injeção: bomba manual ou por ar comprimido.

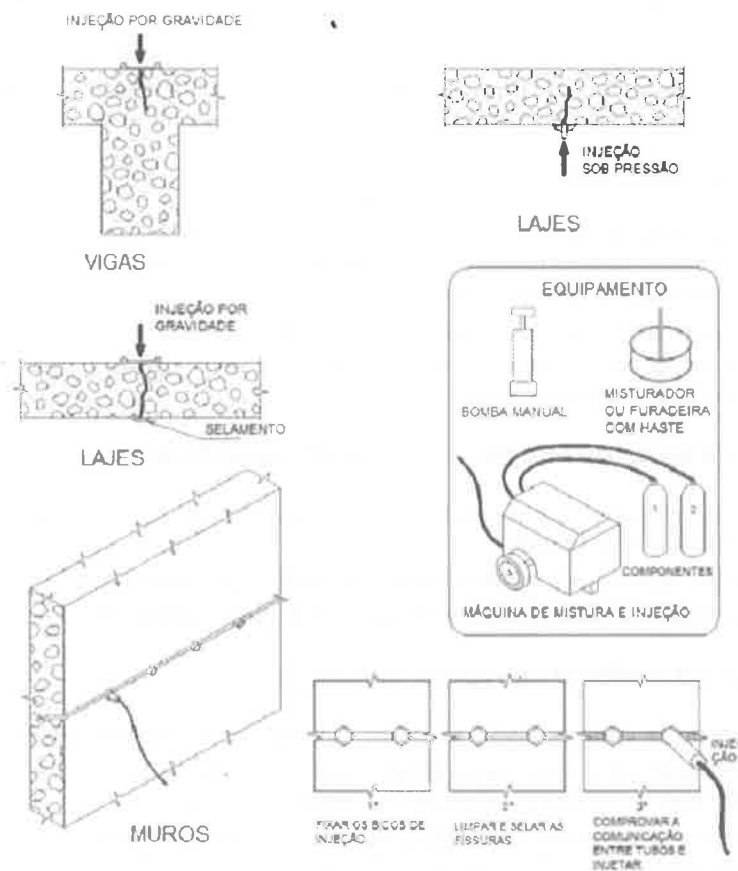



Figura 6.6.7. Injeção de fissuras e trincas.

6.6.8 Reparo submerso por grauteamento (Fig. 6.6.8)

É um método de reparo de pilares que compreende a montagem de fôrma hermética e o bombeamento de um graute na região sumersa em água.

Uso

É empregado no reparo de pilares (ou estacas) imersos em água, freqüentemente na zona de variação da maré (ou de *splash*), a qual está submetida a ciclos de molhagem-secagem, ataque químico e abrasão. Também se aplica no reparo de pilares fissurados, com o prévio tratamento localizado das fissuras.

Características do material

- Deve ser de elevada resistência, fluido, baixa relação a/c, baixa permeabilidade. Requer o uso de aditivos.
- A técnica permite o uso de graute ou concreto reoplástico.

Características das fôrmas

- As formas consistem de duas grandes peças rígidas que permitem envolver o pilar prevendo um aumento de sua seção. As peças deverão ser tais que possilitem o fechamento hermético da fôrma.
- Na parte inferior da fôrma será instalado um tubo e uma válvula para a introdução do graute.

Preparo da superfície

Remover o concreto deteriorado e deixar o substrato são e rugoso.

Colocação da armadura

A armadura (de costura) ao redor do pilar permitirá a integração do novo revestimento ao existente.

Aplicação do material

Colocação da armadura. A armadura ao redor do pilar permitirá a integração do novo revestimento ao existente.

Desforma

O tempo de desforma dependerá do material empregado, mas nunca menor que 48 horas.

Equipamento

Bomba para o transporte e aplicação do material de reparo.

Vantagens

Este método apresenta vantagens quanto à qualidade e durabilidade do reparo sobre os métodos que utilizam fôrmas permeáveis ou sobre aqueles em que o concreto é lançado por gravidade.

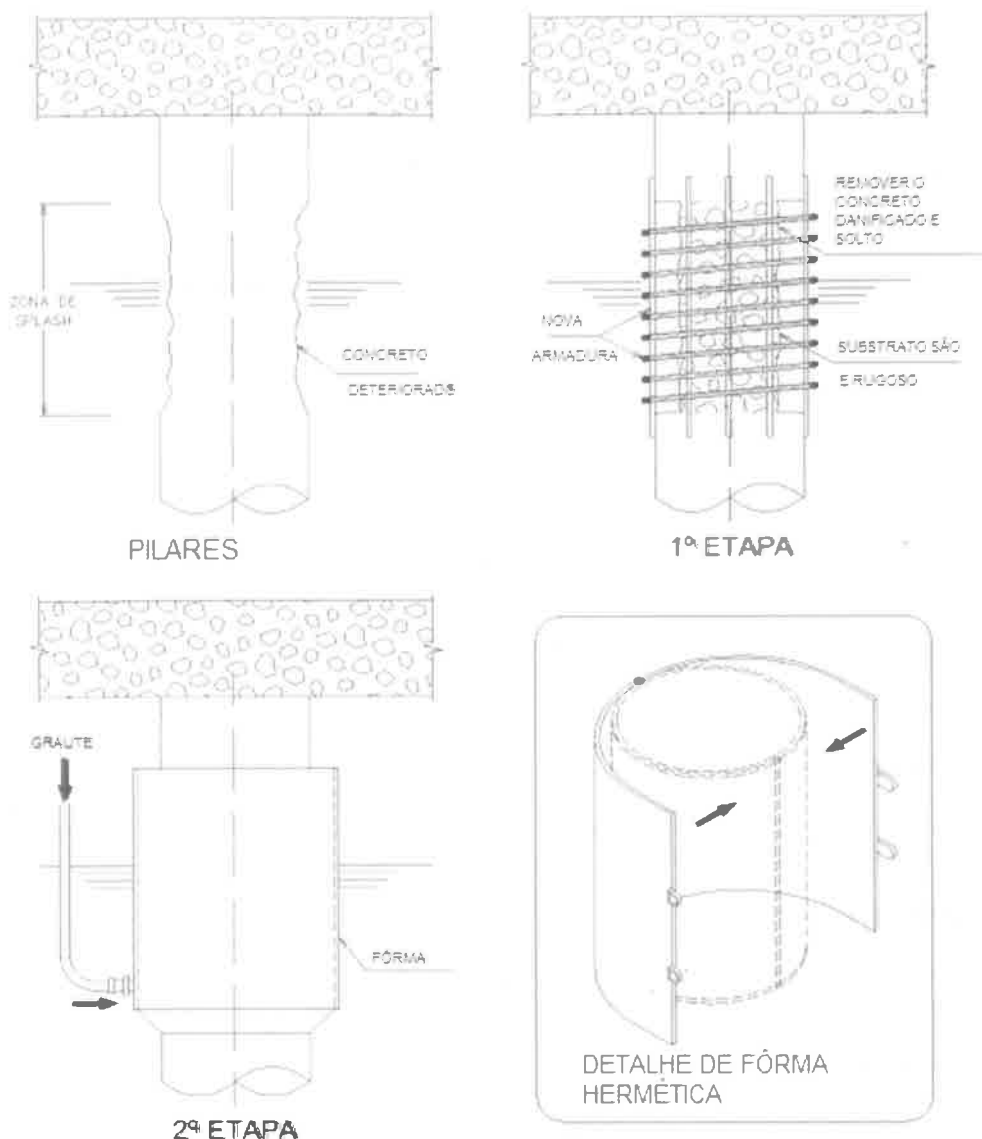



Figura 6.6.8. Grauteamento em reparo submerso.

6.6.9 Sobrecapas ou *overlays* (Fig. 6.6.9)

É um método de reparo de estruturas que envolve a aplicação de um material superposto ao existente, o que permite resolver uma variedade de problemas que ocorrem na superfície do concreto.

É utilizado para melhorar a drenagem e a superfície de rolamento, aumentar a capacidade de carga, proteger o concreto de ambientes agressivos e também resolver problemas de deterioração da superfície do concreto.

Uso

Emprega-se em reparos superficiais generalizados, em lajes ou plataformas de concreto, pontes e pavimentos em geral.

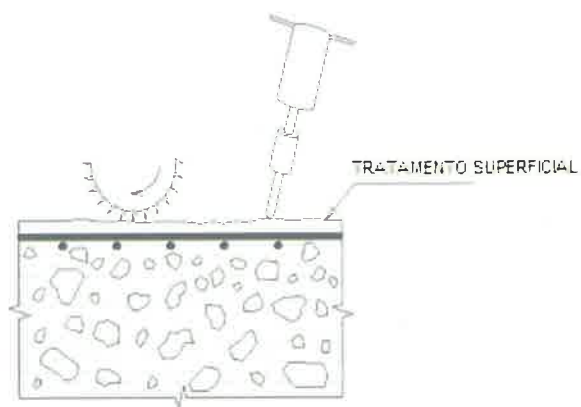
Características do material

- Esta técnica permite o uso de diferentes materiais e de diversos espessuras. As espessuras mais usadas são entre 4 mm a 8 mm.
- Os materiais comumente usados são concreto de cimento Portland com baixa relação a/c e concretos de cimento Portland modificados com látex ou microssílica.
- São permitidas espessuras menores que 3 mm quando são aplicadas argamassas orgânicas ou argamassas poliméricas (de cimento modificadas com polímero). A resina mais comum é o epóxi, o qual se combina com areia graduada para formar uma argamassa.

Aplicação do material

- Previamente à aplicação do material, deve ser realizado um tratamento da superfície para promover a aderência com o concreto existente. Isto se consegue com apicoamento, escarificação ou desbaste.
- A aplicação do material de reparo será feita de acordo com as especificações do fabricante, com ênfase nas técnicas de lancamento convencional (como em concreto), de modo a prevenir problemas de fissuração, retração plástica, segregação, falta de aderência e ausência de adensamento.
- A maioria das aplicações não requerem reforço adicional, mas são usadas fibras para melhorar suas propriedades tais como a resistência ao impacto e diminuir a retração plástica.

Equipamento

- Martelete pneumático.
- Fresa.

- CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND
- CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND MODIFICADO COM LÁTEX
- CONCRETO COM MICROSSÍLICA

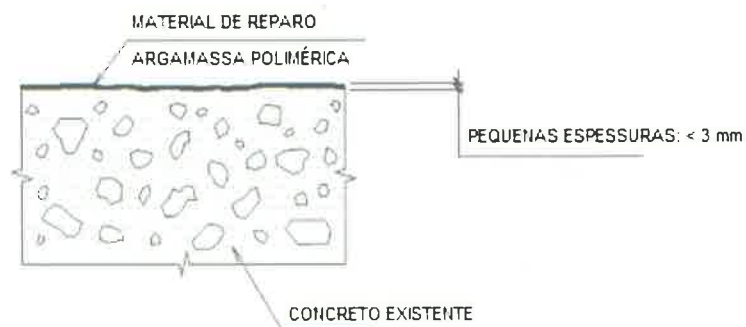



Figura 6.6.9. Sobrecapas ou *overlays*.

6.6.10 Aplicação manual de argamassa tixotrópica (Fig. 6.6.10)

É um método de reparo por aplicação manual de materiais de reparo tixotrópicos, isto é, materiais que não sofrem embarrigamento ou desprendimento.

Uso

É empregado em reparos superficiais e localizados que não comprometam a armadura, principalmente em posição horizontal sobrecabeça.

Características do material

- Misturas especiais de cimento, agregados finamente graduados, fíler, sistemas de compensação da retração e água.
- O proporcionamento da mistura deve permitir que o material permaneça aderido ao substrato até receber as camadas subseqüentes, e deve promover a aderência entre camadas sucessivas.

Aplicação do material

- A argamassa é aplicada manualmente ou com colher-de-pedreiro sobre a superfície preparada.
- Aplica-se a primeira camada pressionando-a contra o substrato para que o material de reparo penetre nos poros do concreto existente.
- Cada camada é ranhurada para promover a aderência com a camada seguinte, e assim sucessivamente até o preenchimento total da cavidade.

Cura

Úmida durante 7 dias.

Ferramental

Colher-de-pedreiro.

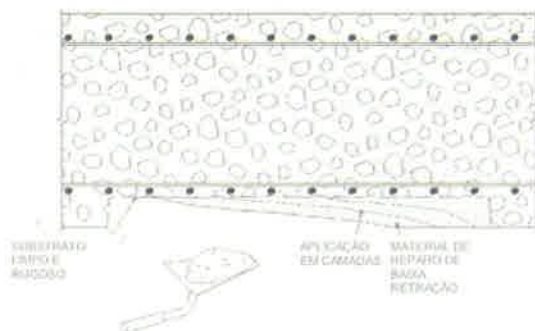



Figura 6.6.10. Aplicação manual.

6.7.1 Reparos superficiais localizados (Fig. 6.7.1)

Figura 6.7.1. Reparos superficiais localizados.

6.7.2 Reparos superficiais generalizados (Fig. 6.7.2)

MUROS E PILARES

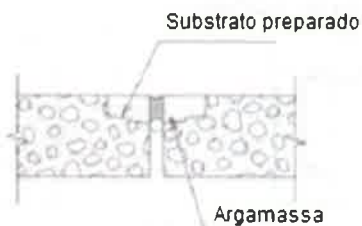
VIGAS E LAJES

JUNTAS

Figura 6.7.2. Reparos superficiais generalizados.

6.7.3 Reparos profundos localizados (Fig. 6.7.3 e 6.7.4)

CASO I: ARGAMASSA DE REPARO

CASO II: CONCRETO DE BAIXA RETRAÇÃO (CONCRETO COM FIBRAS, MICROCONCRETO BASE CIMENTO, GRAUTE BASE CIMENTO, GRAUTE BASE EPÓXI)

SEÇÕES

PILARES E MUROS

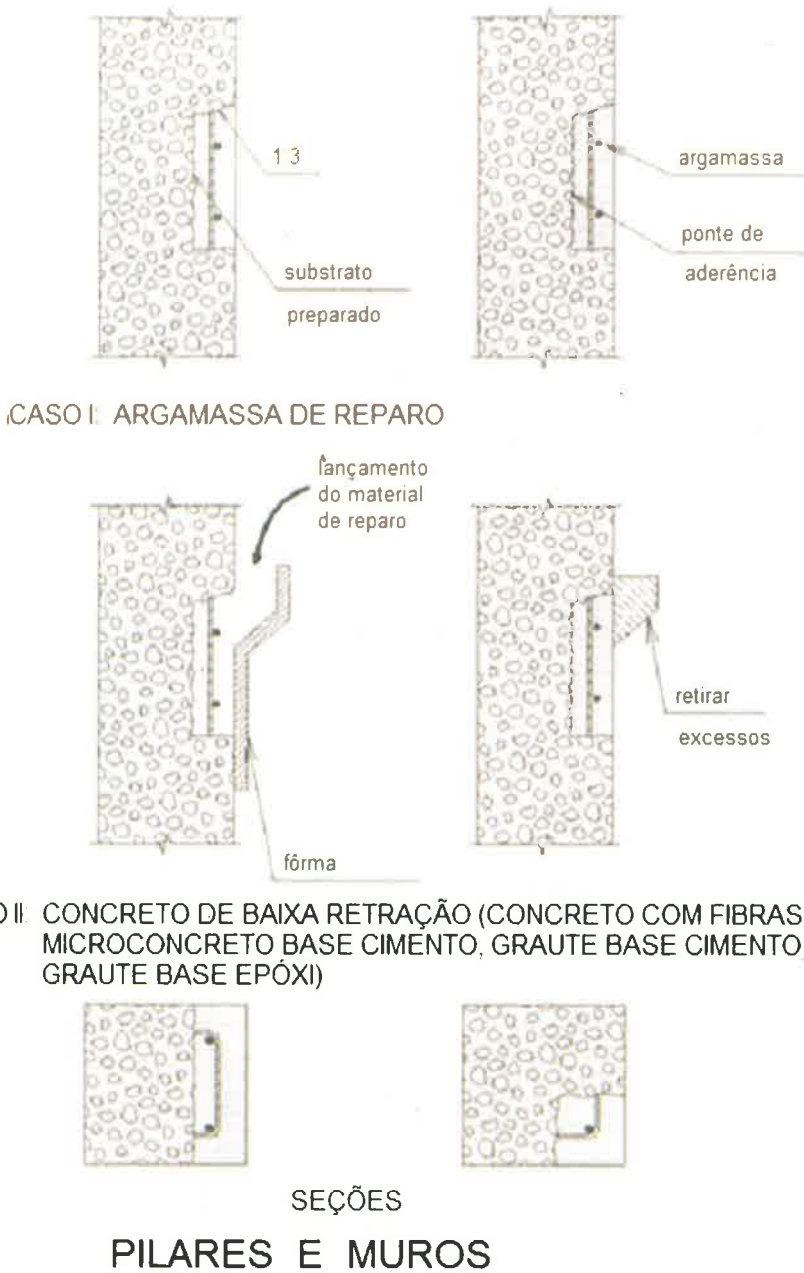



Figura 6.7.3. Reparos profundos localizados.

substrato
preparado

Soquete ou marreta
para compactação

LAJES

fôrma

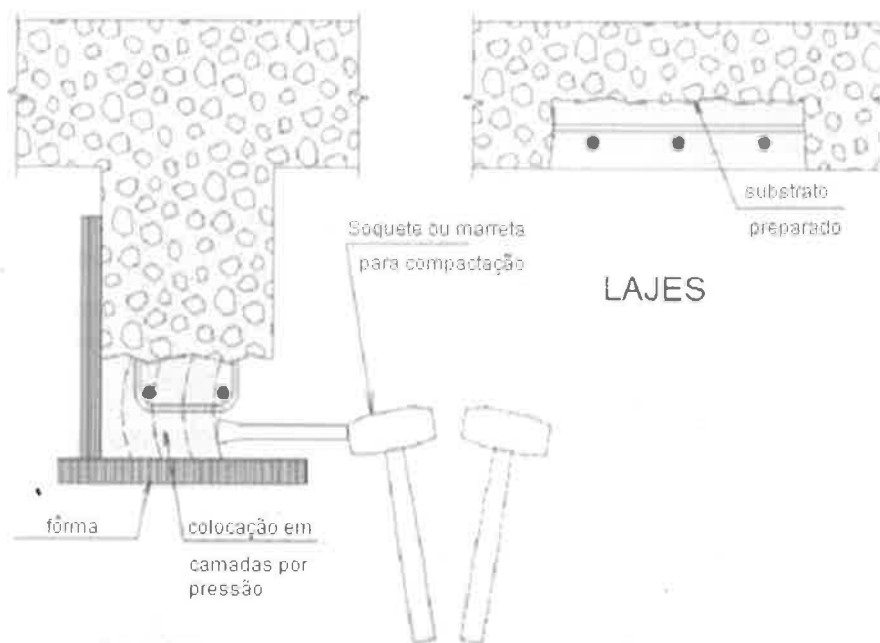
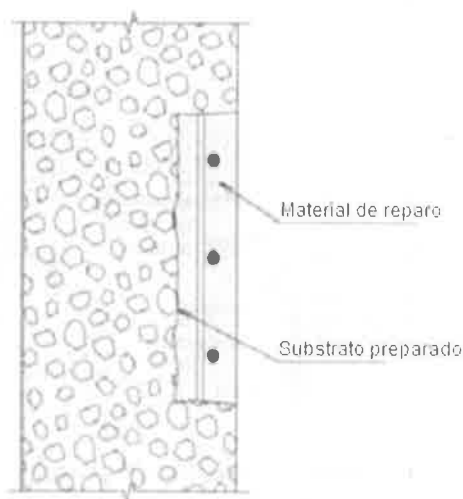
colocação em
camadas por
pressão

VIGAS

SUPERFÍCIES VERTICAIS

Figura 6.7.4. Reparos profundos localizados.

6.7.4 Reparos profundos generalizados (Fig. 6.7.5 a 6.7.13)

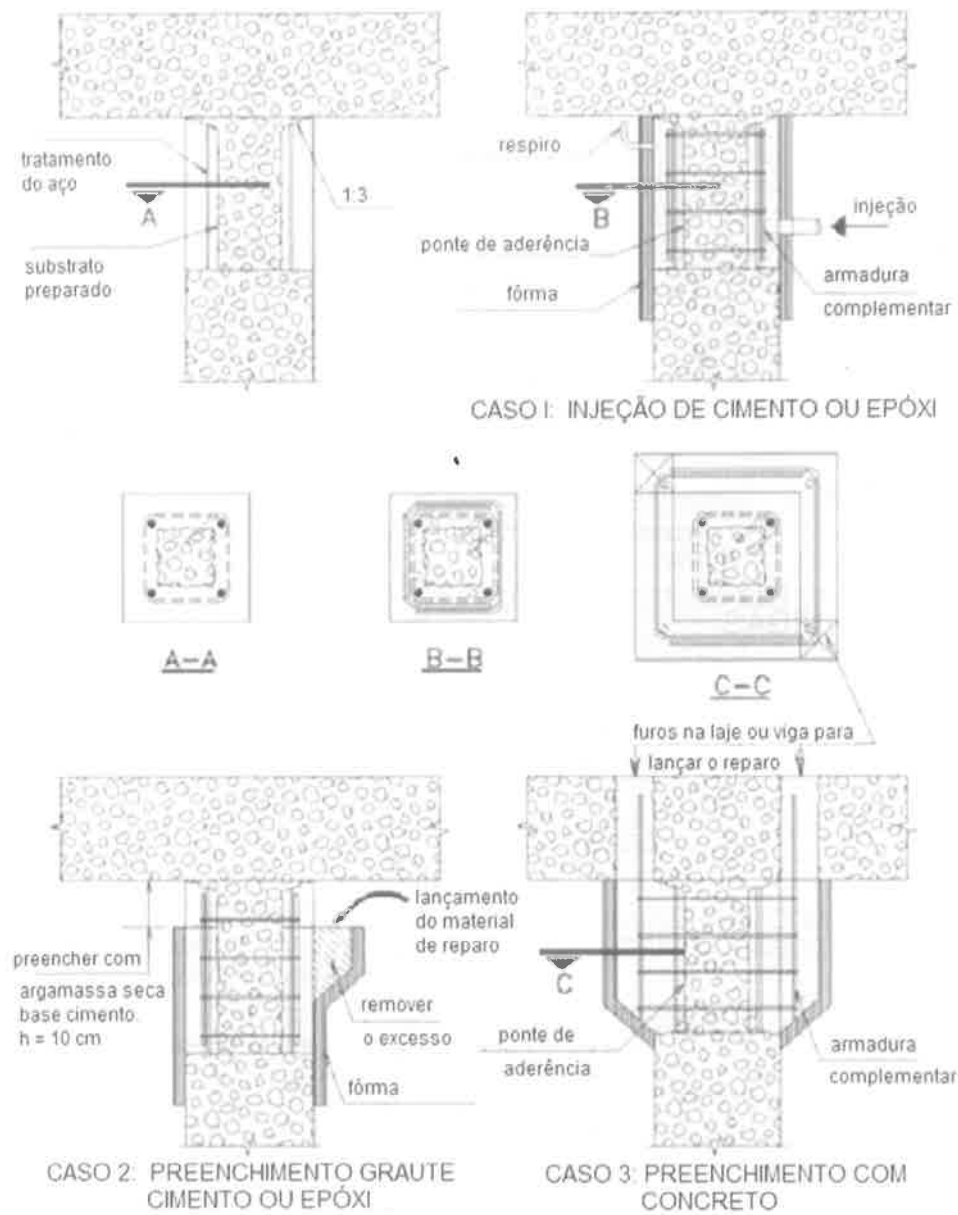



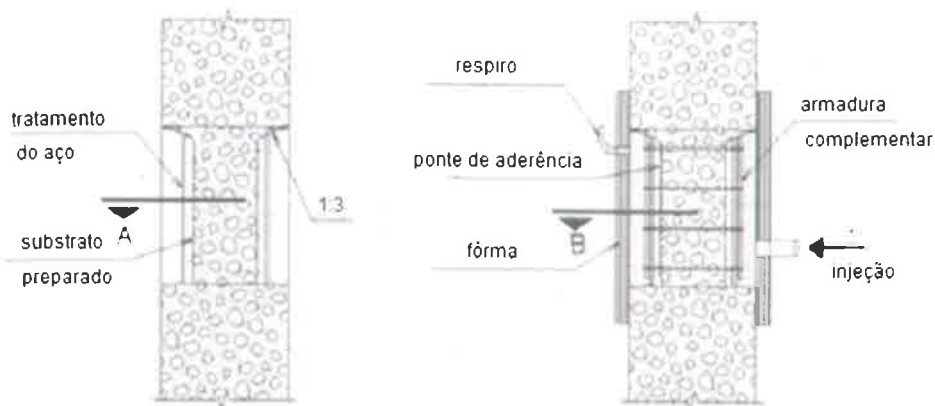
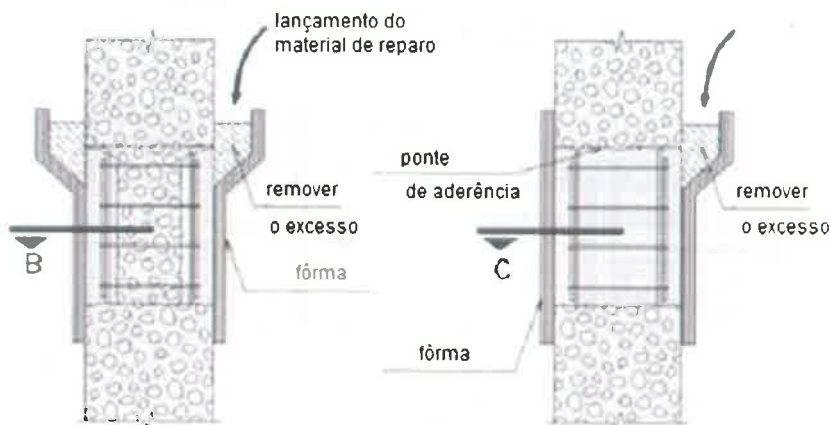
Figura 6.7.5. Reparos profundos generalizados.

PILARES - TRAMO INTERMEDIÁRIO

Figura 6.7.6. Reparos profundos generalizados.

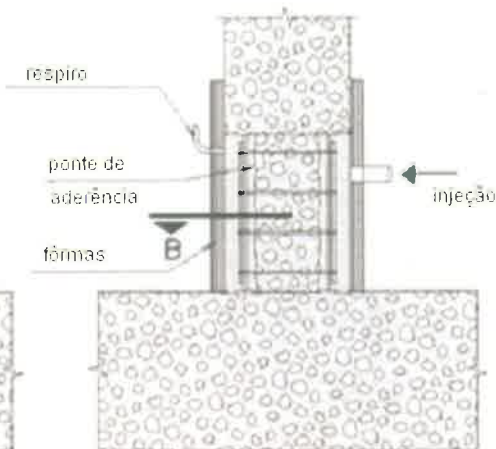
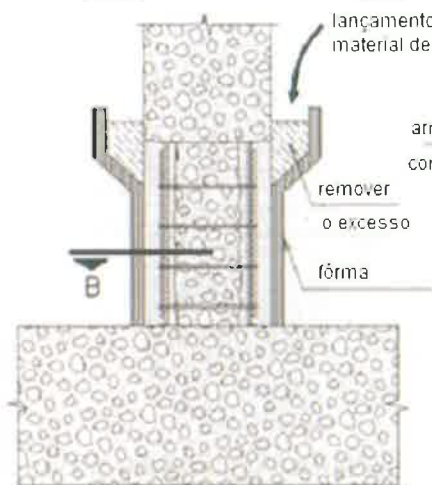
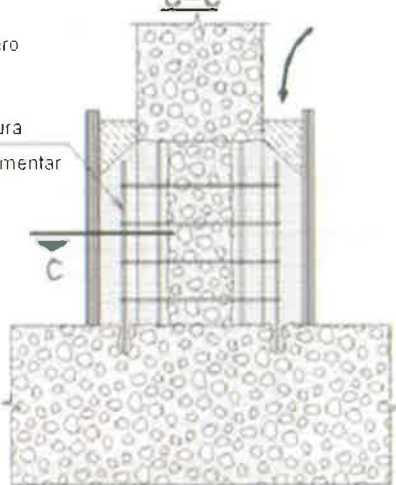



Figura 6.7.7. Reparos profundos generalizados.

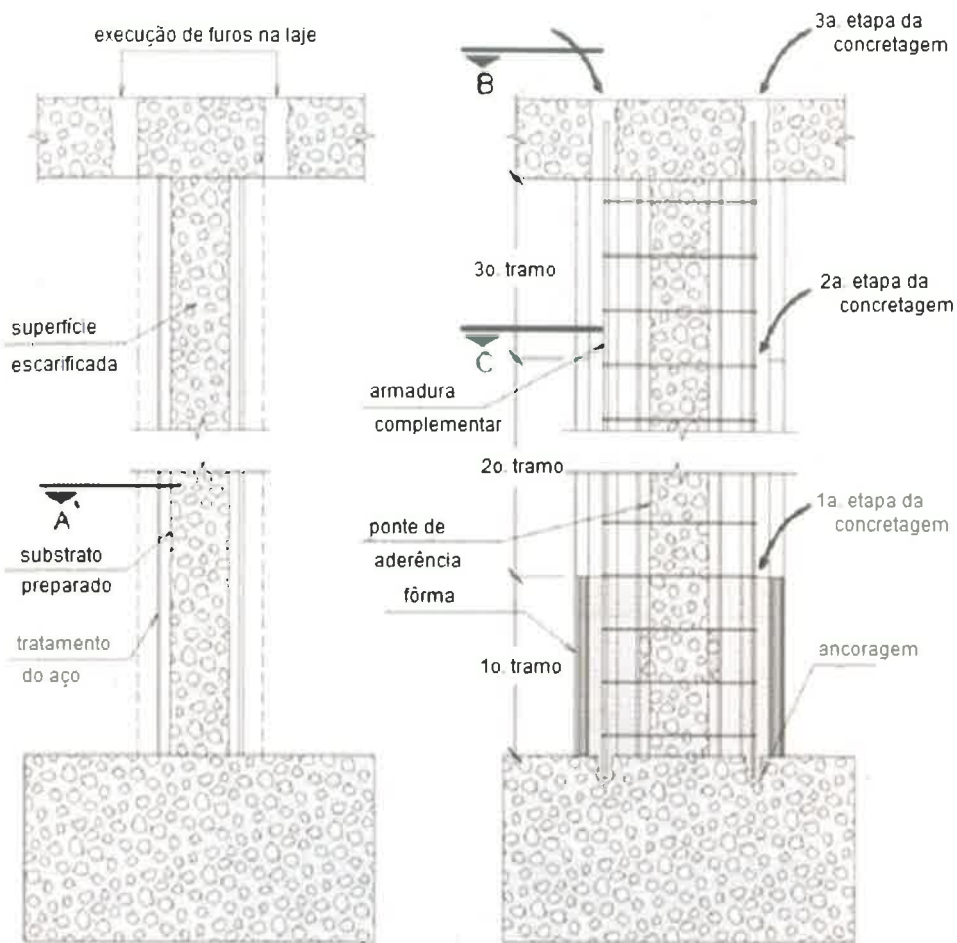



Figura 6.7.8. Reparos profundos generalizados.

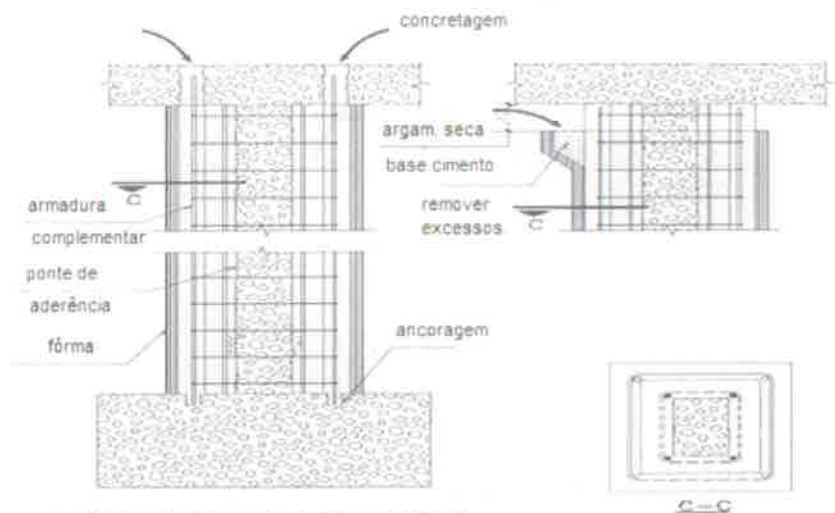



Figura 6.7.9. Reparos profundos generalizados.

ELEVAÇÃO

PASTA DE CIMENTO,
CONCRETO COM FIBRAS

fôrma

remover o excesso

concretagem

furos

mín. 20cm

CONCRETO

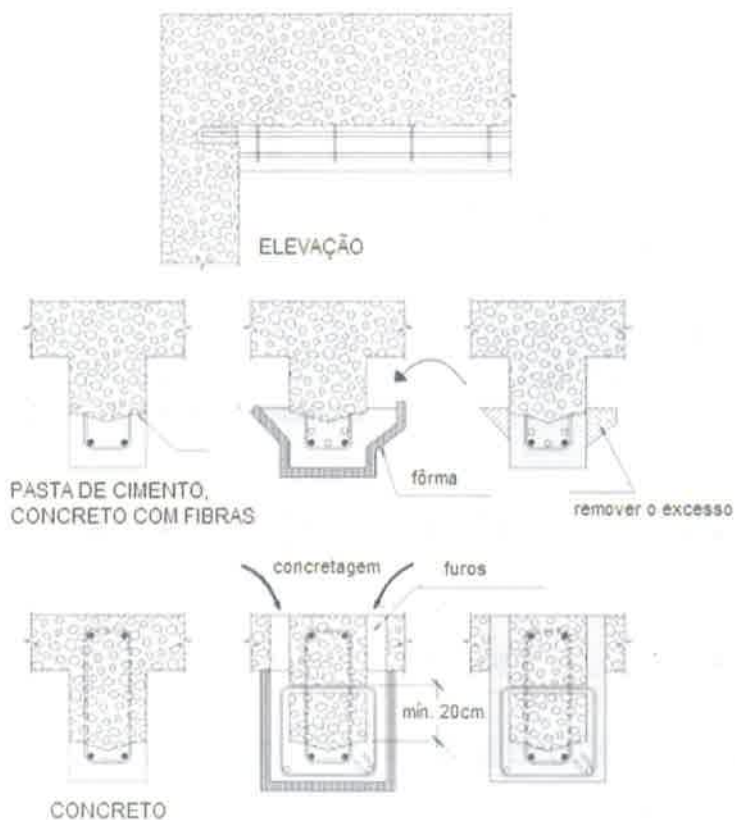
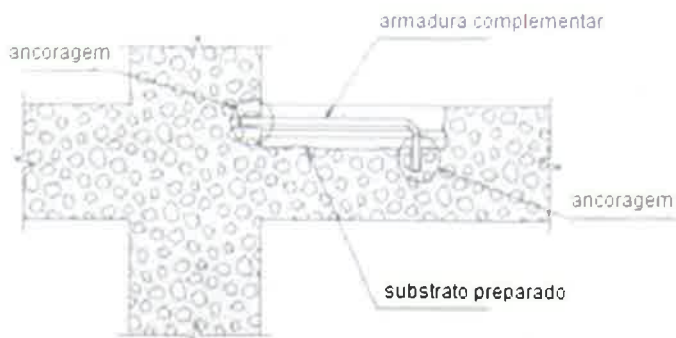
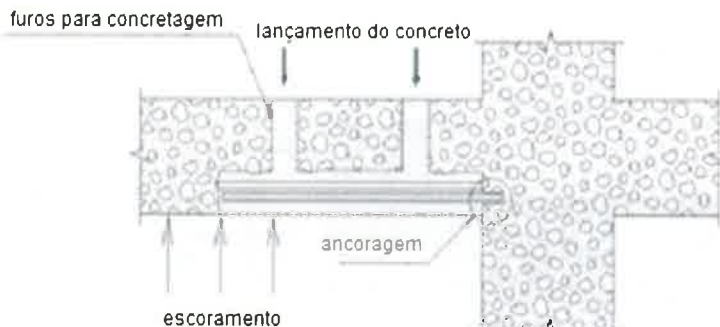



Figura 6.7.10. Reparos profundos generalizados.

COM ARMADURA CHUMBADA

COM ARMADURA EMENDADA

EM FUNDO DE LAJE

EM TODA A ESPESSURA DO ELEMENTO

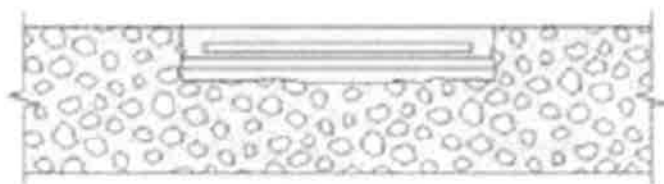



Figura 6.7.11. Reparos profundos generalizados.

Figura 6.7.12. Reparos profundos generalizados.

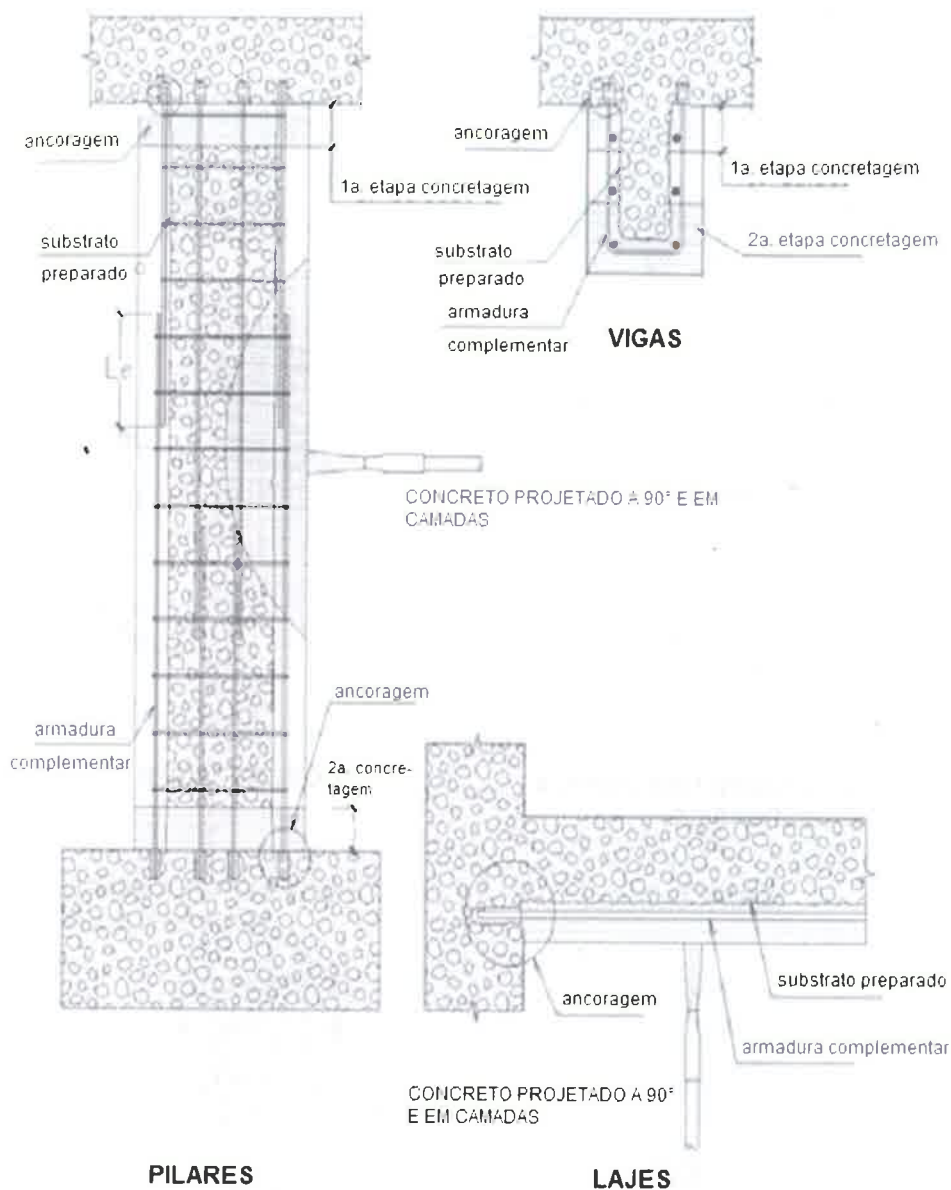



Figura 6.7.13. Reparos profundos generalizados.

6.7.5 Reparo de pilares mediante encamisamento (Fig. 6.7.14 e 6.7.15)

CASO I

zona de "splash"

A

concreto deteriorado

superfície sã e rugosa

nova armadura

B

concreto fluido

encamisamento

APICOAMENTO E LIMPEZA DA SUPERFÍCIE

CONCRETAGEM

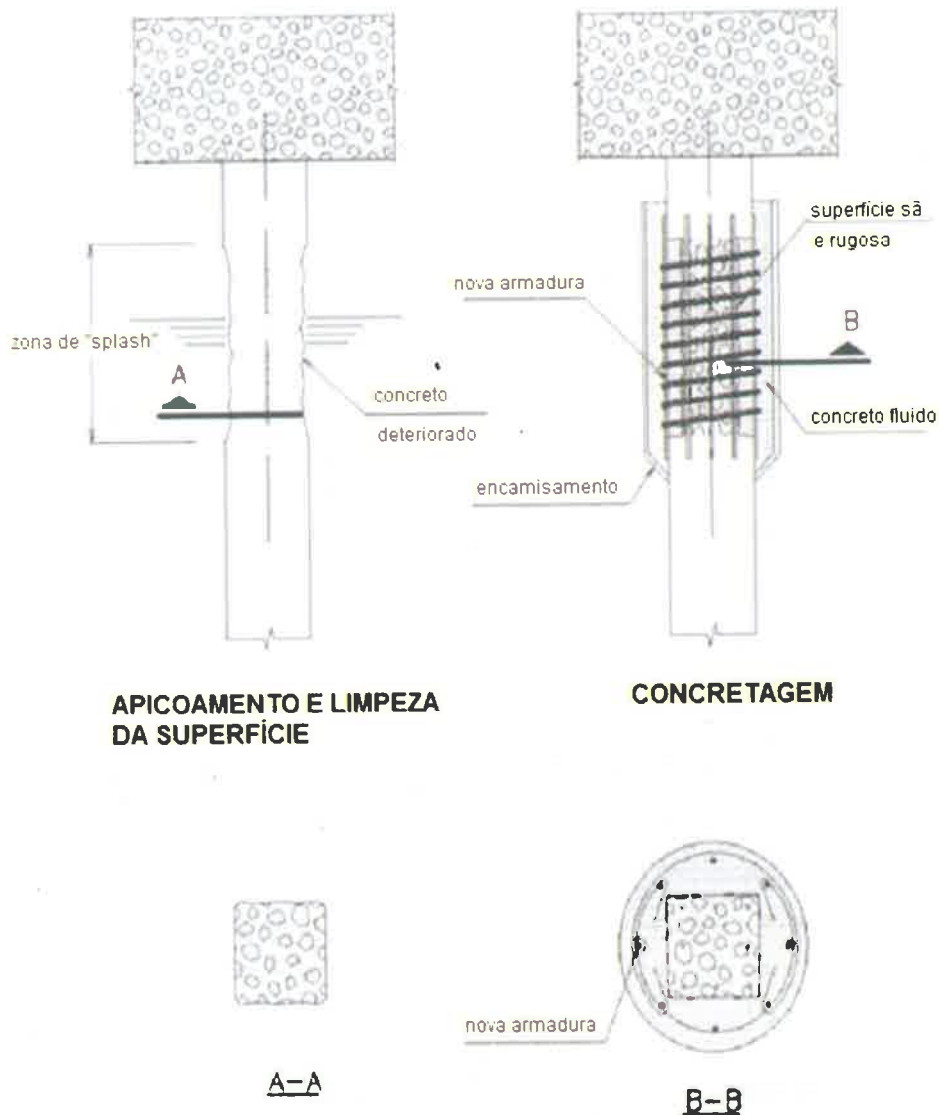



Figura 6.7.14. Reparo de pilares mediante encamisamento.

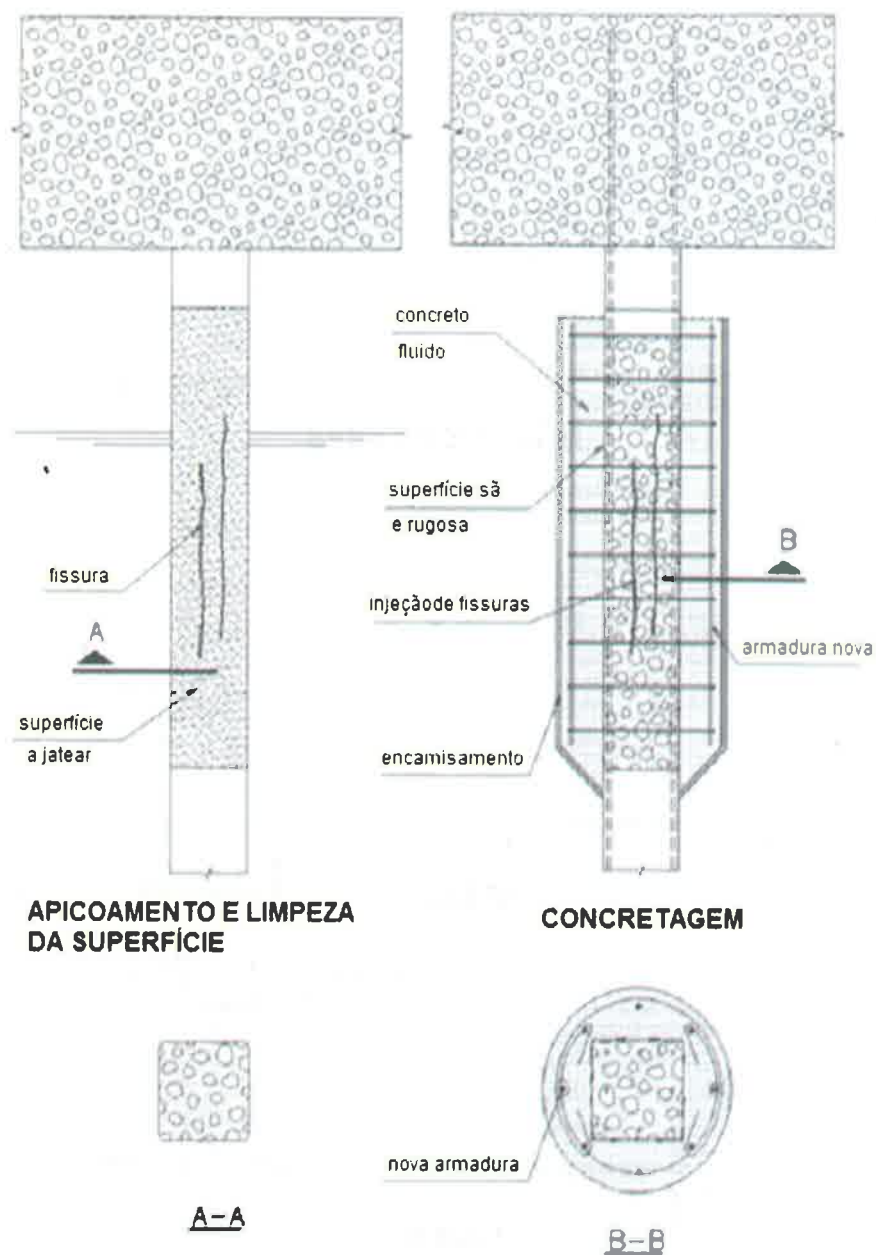



Figura 6.7.15. Reparo de pilares mediante encamisamento.

6.7.6 Fissuras e/ou trincas passivas (Fig. 6.7.16)

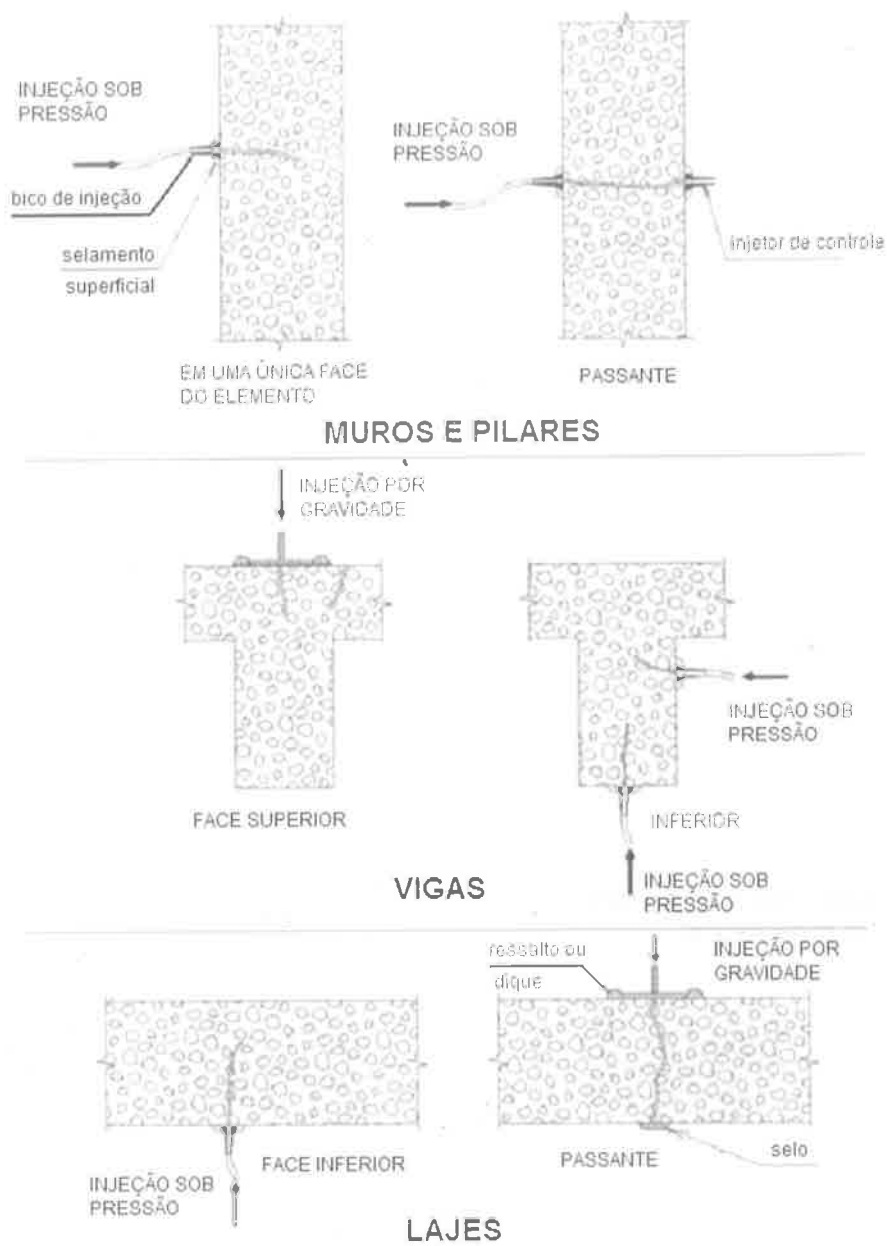
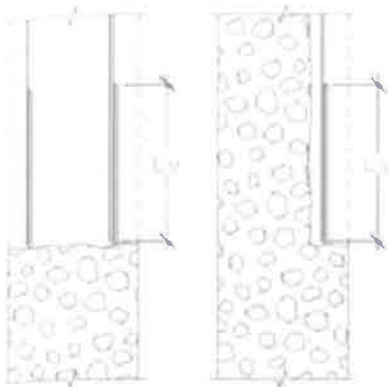
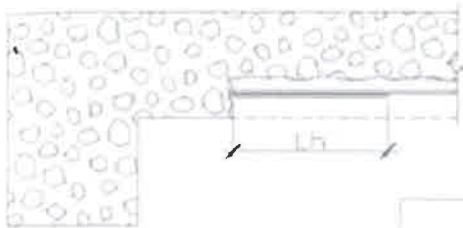
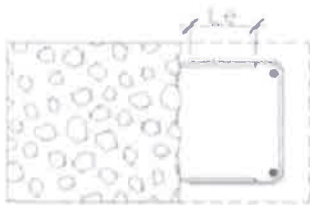



Figura 6.7.16. Fissuras e/ou trincas passivas.

6.7.7 Detalhe de emenda de armadura por traspasse (Fig. 6.7.17)

MATERIAL	Lv
ARGAMASSA BASE CIMENTO PASTA DE CIMENTO MICROCONCRETO CONCRETO	40ϕ
ARGAMASSA BASE CIMENTO PASTA DE CIMENTO	40ϕ

MUROS E PILARES

MATERIAL	Lh	
ARGAMASSA BASE CIMENTO PASTA DE CIMENTO MICROCONCRETO CONCRETO	40ϕ	60ϕ
ARGAMASSA BASE CIMENTO PASTA DE CIMENTO	30ϕ	45ϕ

VIGAS

MATERIAL	Ls
ARGAMASSA BASE CIMENTO PASTA DE CIMENTO MICROCONCRETO CONCRETO	40ϕ
ARGAMASSA BASE CIMENTO PASTA DE CIMENTO	40ϕ

ESTRIBOS

Figura 6.7.17. Detalhe de emenda de armadura por traspasse.

6.7.8 Detalhe de emenda de armadura por solda (Fig. 6.7.18)

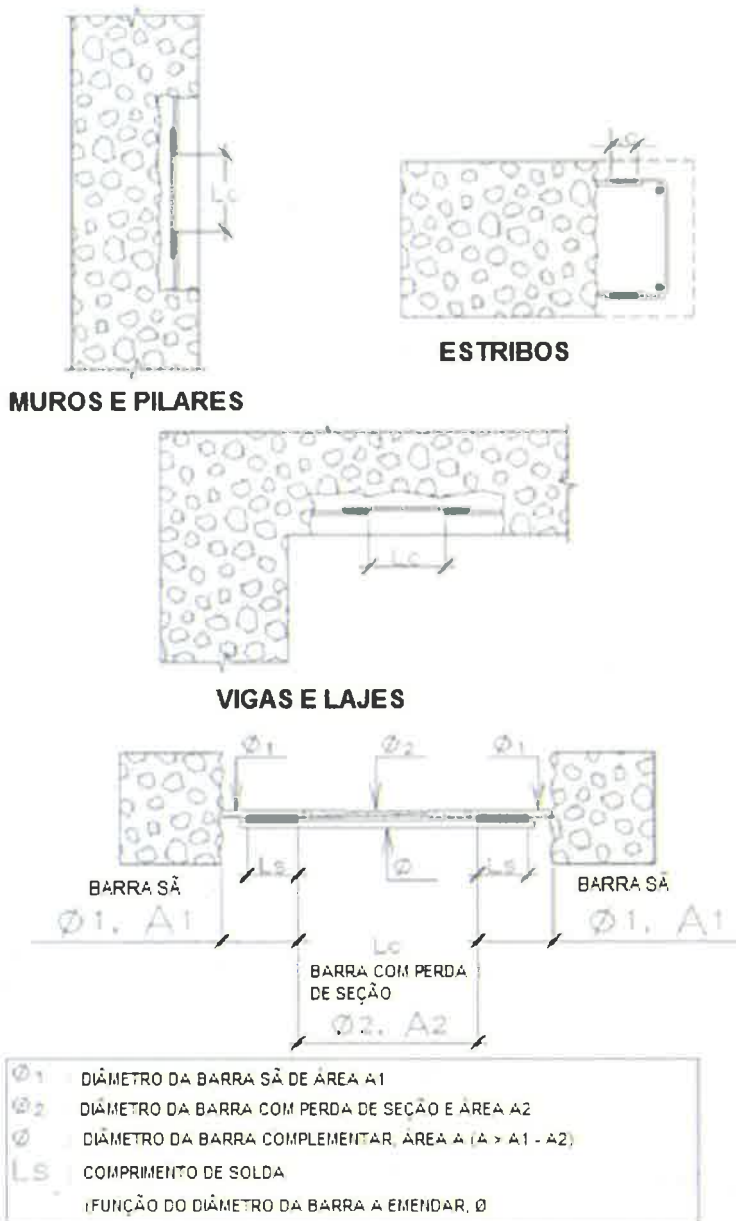
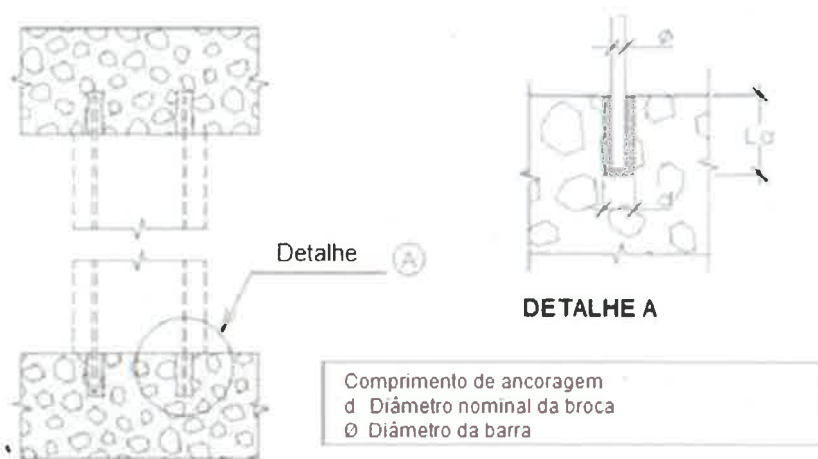
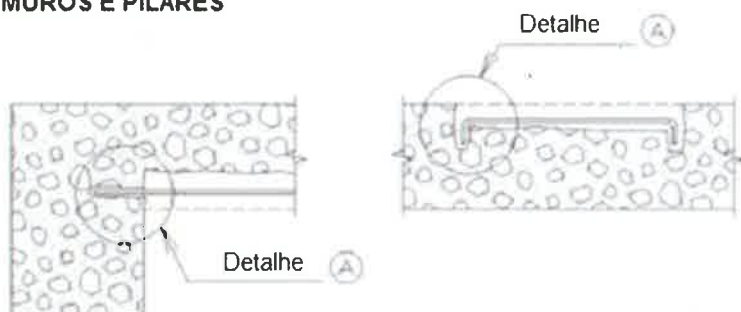



Figura 6.7.18. Detalhe de emenda de armadura por solda

6.7.9 Detalhe de ancoragem – sistema de ancoragem com adesivo (Fig. 6.7.19)

Detalhe A

DETALHE A

Comprimento de ancoragem
d Diâmetro nominal da broca
Ø Diâmetro da barra

MUROS E PILARES

Detalhe A

Detalhe A

VIGAS E LAJES

ESTRIBOS

Figura 6.7.19. Detalhe de ancoragem – sistema de ancoragem com adesivo.

CAPÍTULO 07

Procedimentos de Reparo e Proteção de Armaduras

CAPÍTULO 07

Procedimentos de Reparo e Proteção de Armaduras

Autores
Arlindo Gonçalves
Carmen Andrade
Marta Castellote

Introdução

Neste capítulo é apresentado um pequeno resumo do fenômeno da corrosão de armaduras nas estruturas de concreto, seguido da descrição de todas as formas conhecidas e consagradas de reparo e proteção de armaduras, conforme se vê na Figura 7.1.

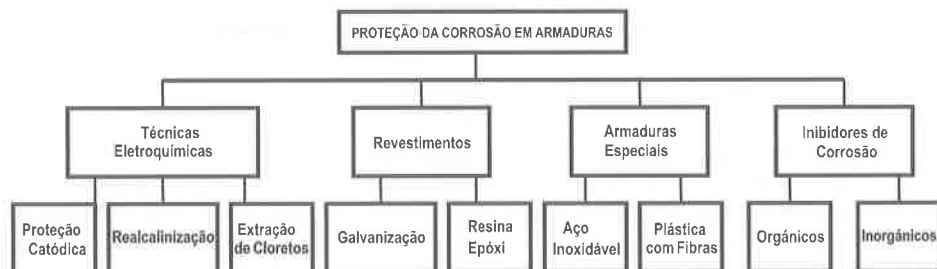



Figura 7.1. Sistemas de reparo e proteção contra a corrosão das armaduras de estruturas de concreto.

Com relação à proteção de armaduras de forma indireta com revestimentos superficiais aplicados sobre o concreto, apresentam-se no Capítulo 9 "Proteção e Manutenção de Estruturas" os procedimentos adequados para a intervenção.

7.1 TÉCNICAS OU MÉTODOS ELETROQUÍMICOS DE PROTEÇÃO

As técnicas eletroquímicas de proteção/reparo de estruturas danificadas por corrosão de armaduras são três: Proteção catódica (PC), Extração eletroquímica de cloretos (EEC) e Realcalinização (RA), conforme Figura 7.1.1.

Dentre estas três técnicas, a proteção catódica é a mais antiga, tendo sido utilizada amplamente para estruturas de aço submersas (barcos, plataformas petrolíferas) ou enterradas (tubulações). Seus princípios foram concebidos no século XIX, porém não foram aplicados a estruturas de concreto armado até 1955 (estruturas sumersas ou enterradas). No começo dos anos 70 começou-se a utilizar a técnica para estruturas aéreas, e nos anos 90 passou a ser utilizada em caráter preventivo (prevenção catódica) [1]. A proteção catódica está regulamentada e normalizada em vários países [2-4]. No ano 2000, foi publicada uma norma européia sobre o assunto, a EN 12696 [5].

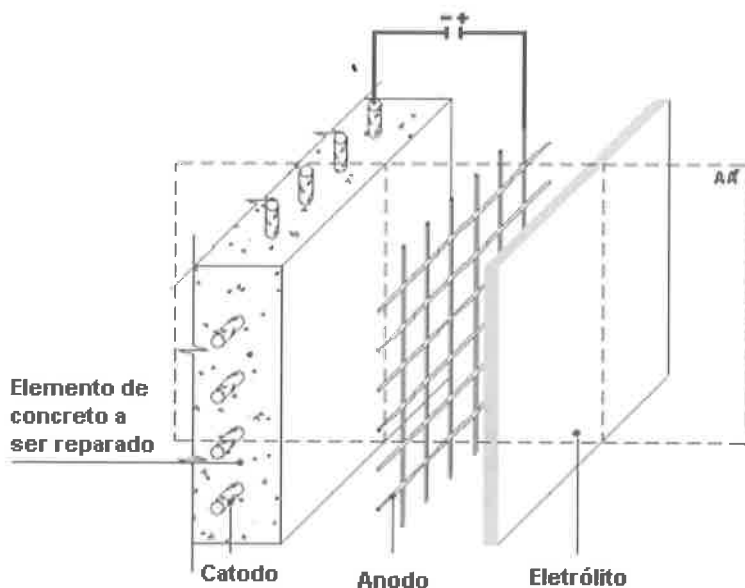



Figura 7.1.1. Esquema geral das técnicas eletroquímicas.

A extração eletroquímica de cloretos, EEC (ver Figura 7.1.2), e a realcalinização, RA (vide Figura 7.1.3), são métodos mais recentes, que estão se desenvolvendo na atualidade. A aplicação destas técnicas baseia-se no conceito de eliminar a causa que está produzindo a corrosão das armaduras, isto é, os cloretos ou a redução de pH no entorno do aço.

No que diz respeito à EEC, não existem normas que a regulamentem, porém a Federação Européia de Corrosão publicou em 1998 o estado da arte [6], sendo também digno de nota o trabalho que se encontra na referência [34].

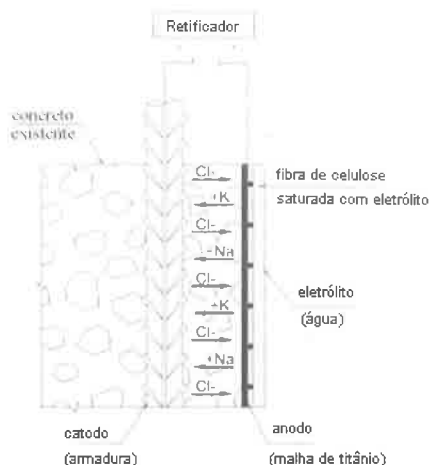



Figura 7.1.2. Esquema da extração eletroquímica de cloretos.

Quanto à realcalinização, atualmente a CEN está elaborando um projeto de norma européia [7]. Além destas normas, na ação européia COST Action 521 [8] foi elaborado um documento completo e final acerca das três técnicas eletroquímicas, que cobre a maior parte dos aspectos envolvidos nas mesmas.

7.1.1 Fundamentos

O princípio destas técnicas consiste na aplicação de corrente contínua entre a armadura (conectada ao pólo negativo da fonte de tensão, o catodo) e um eletrodo auxiliar externo (que atua como anodo), tal como se mostra na Figura 7.1.4.

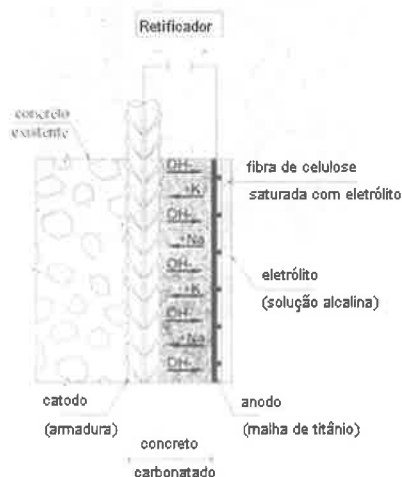



Figura 7.1.3. Esquema da realcalinização eletroquímica.

Dada a natureza das matrizes de base cimento, com sua complexa microestrutura constituída por uma rede de poros contendo uma fase aquosa rica en íons, estas se comportam eletricamente como um condutor, respondendo à presença de um campo elétrico como se os íons que confinam estivessem em dissolução. Assim, os íons positivos deslocam-se até o eletrodo negativo, enquanto que os íons negativos vão para o eletrodo positivo.

Além da aceleração e direcionamento dos íons, ao aplicar um campo elétrico, também é preciso considerar a polarização das armaduras e as reações nos eletrodos: Se o anodo é um metal pouco nobre, (por exemplo, o Fe), ele se oxida dando lugar a suas espécies em dissolução. Se pelo contrário, é um metal nobre, produz a oxidação de espécies presentes no eletrólito, por exemplo a formação de Cl_2 ou a hidrólise da água. No catodo, ou seja, na armadura da estrutura, ocorre a redução de seus próprios óxidos, de espécies presentes no eletrólito (oxigênio) ou a hidrólise da água, originando íons OH^-.

Por outro lado, ao aplicar um campo elétrico no concreto pode ocorrer o fenômeno eletrocinético da eletrosmose, pelo qual dada a carga negativa das paredes dos poros das matrizes de base cimento, é estabelecido um fluxo de líquido do pólo positivo para o negativo, cuja magnitude depende do tipo de matriz, do eletrólito externo e do campo elétrico aplicado.

Figura 7.1.4. Esquema de funcionamento das técnicas de reparo eletroquímicas.

Assim, estas diferentes técnicas têm mecanismos de ação devidos a diferentes fenômenos: No caso da proteção catódica, o fundamento do método consiste em situar o potencial da armadura abaixo do potencial de corrosão, ou seja, na zona de imunidade do diagrama de Pourbaix [9] conforme Figura 7.1.5, o que se consegue mediante um fluxo de corrente que se mantém durante toda a vida da estrutura.

No caso da extração de cloretos, o fundamento do método radica na eliminação dos agentes agressivos, já que os íons cloreto carregados negativamente são atraídos para o eletrodo externo (anodo carregado positivamente) pela ação do campo elétrico, além do aumento de alcalinidade devido à reação catódica.

No caso da realcalinização, o objetivo do tratamento consiste na restauração da alcalinidade do concreto ao redor das armaduras, de forma que estas se repassivem em conseqüência da hidrólise da água no catodo e o estabelecimento de um fluxo eletrosmótico que introduz os íons carbonato da solução externa para a armadura.

Um esquema dos diferentes processos que ocorrem ao aplicar-se um campo elétrico no concreto, assim como o fundamento de cada uma das técnicas, é mostrado esquematicamente na Figura 7.1.6.

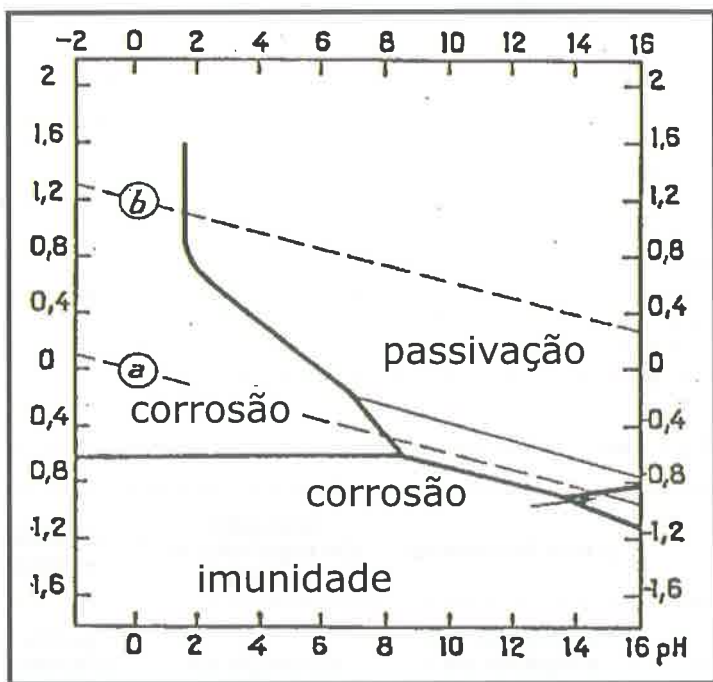



Figura 7.1.5. Diagrama de Pourbaix para o ferro.

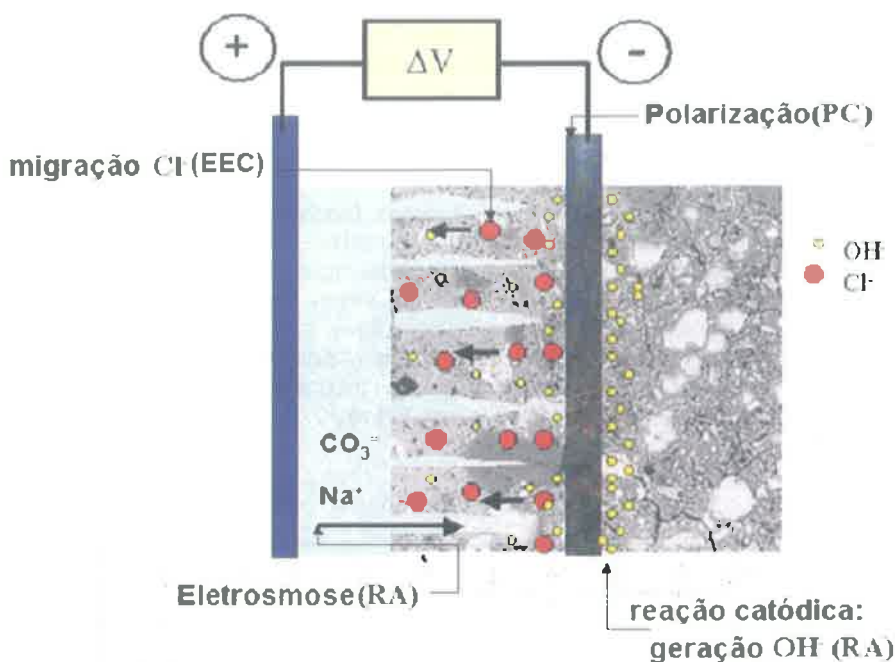



Figura 7.1.6. Representação esquemática dos diferentes processos que ocorrem ao aplicar-se um campo elétrico ao concreto, bem como os fundamentos de cada técnica eletroquímica de reparo.

Assim, embora o fundamento de atuação seja diferente, estas técnicas apresentam muitos aspectos em comum, fundamentalmente no que diz respeito a sua aplicação, pelo que podem ser tratadas de forma conjunta. As principais diferenças entre elas estão na densidade de corrente aplicada e duração do tratamento, tal como se vê na Tabela 7.1.1.

Tabela 7.1.1. Características das diferentes técnicas ou métodos eletroquímicos.

	proteção catódica	***extração eletroquímica de cloretos***	***realcalinização eletroquímica***
detém a corrosão por	polarização das armaduras até o potencial de imunidade	eliminação dos agentes agressivos	restauração da alcalinidade perdida no entorno da armadura
duração do tratamento	permanente	4 a 10 semanas	1 a 2 semanas
densidade de corrente típica	10 mA/m²	0,8 a 2 A/m²	0,8 a 2 A/m²

7.1.2 Aspectos Práticos Prévios ao Tratamento

Antes de realizar um tratamento eletroquímico, é necessário certificar-se de que a estrutura não esteja danificada do ponto de vista estrutural propriamente dito. Se estiver, deverá ser reconsiderado o tratamento eletroquímico depois da execução dos reparos necessários na estrutura, ou seja, não deverão haver fissuras ou armaduras expostas, tudo deverá estar previamente preparado antes do tratamento eletroquímico.

Se não estiver, será preciso fazer uma inspeção de preparação para o tratamento que, dentre outros, deverá cobrir os seguintes pontos:

Continuidade elétrica das armaduras

É preciso garantir que existe continuidade elétrica entre as armaduras. Se restarem armaduras desconectadas, estas não estarão protegidas e poderão corroer-se intensamente por formação de macropilhas. Se for necessário, deverão ser estabelecidas conexões adicionais entre as armaduras.

Continuidade eletrolítica do concreto

O concreto deve proporcionar continuidade eletrolítica para o estabelecimento do circuito de corrente. Portanto, não deve apresentar fissuras grandes, delaminações (desagregações), segregações ou reparos sobre reparos anteriores mal feitos (ocorrência de resistência elétrica muito diferente), que geram um fluxo de corrente não uniforme. Existindo tais problemas, é necessário proceder ao seu reparo antes de iniciar os tratamentos. Além disso, antes de aplicar qualquer destes métodos, é necessária uma limpeza da superfície do concreto para eliminar qualquer vestígio de pó ou graxa.

Espessura do cobrimento

É necessário conhecer a espessura do cobrimento, assim como sua uniformidade. Uma espessura não uniforme dará lugar a um fluxo de corrente igualmente heterogêneo.

Existência de agregados potencialmente reativos (reação álcali-agregado)

Dado que os métodos eletroquímicos vão aumentar a alcalinidade do concreto, eles poderão ativar a reação álcali-agregado se os agregados da matriz forem reativos, sobretudo no caso de EEC e RA [10,11]. Assim, recomenda-se estabelecer a reatividade potencial dos agregados e desaconselhar estes tratamentos caso a análise mostre resultados reativos.

Tipo de aço pelo risco de fragilização por hidrogênio

Quando a armadura no catodo é ativada, ocorre o desprendimento de hidrogênio por hidrólise da água, o que acarreta risco de fragilização do aço, principalmente no caso de protensão com armadura pré ou pós-tracionada. Por isso, para tais tipos de aço, é desaconselhada a aplicação de EEC e RA.

No caso da PC, a polarização é muito menor, e assim considera-se que o tratamento é seguro sempre que o potencial se mantenha mais positivo que -900 mV Ag/AgCl [5].

Teor e distribuição de cloretos

No caso de ser realizado um tratamento de EEC, será necessário verificar o teor e distribuição dos cloretos para estabelecer a condição inicial da estrutura e determinar posteriormente a eficiência da extração, assim como para garantir que cloretos não foram adicionados no momento da mistura do concreto, já que se este for o caso, seria desaconselhável este tratamento, recomendando-se a utilização de PC [12]. Para isto, deverá ser extraído pelo menos um testemunho e determinar o perfil de cloretos. Mesmo assim, é aconselhada a realização de uma simulação do resultado do tratamento, com o objetivo de determinar os parâmetros ótimos e a duração do mesmo, seguindo o modelo descrito na referência [13].

Profundidade e distribuição da carbonatação

No caso de ser realizado um tratamento de RA, será necessário determinar a profundidade de carbonatação em vários pontos da estrutura, com o intuito de estabelecer o estado inicial da mesma e determinar posteriormente a eficácia da realcalinização.

Ensaio prévio (para EEC e RA)

A eficácia deste tipo de tratamento depende das características da matriz, da distribuição dos perfis de cloretos e pH e da densidade de corrente transmitida. Outro parâmetro determinante, no caso de EC, é o número de íons cloreto transportados [34, 37-39], ou seja, a fração de carga transmitida carreada por eles.

Conforme progredir o tratamento, devido à geração de OH no catodo, o número de íons cloreto transportados diminui, e assim a eficácia do mesmo abaixa. No que diz respeito à realcalinização, o êxito do tratamento depende de que ocorra a eletrosmose, porque neste caso ocorre a formação de um tampão que impede a carbonatação posterior.

Como já foi comentado, tais tratamentos são experimentais, e assim antes de aplicá-los a toda a estrutura recomenda-se realizar um teste em escala de laboratório (com testemunho extraído da mesma) ou em escala de planta-piloto (sobre a própria estrutura em uma área pequena), de forma que se possa estabelecer a densidade de corrente apropriada, a eficiência do método para esse tipo específico de concreto e o tempo estimado de tratamento.

Não sendo possível realizar um teste prévio, existem modelos na bibliografia que permitem a previsão dos perfis residuais para diferentes densidades de carga transmitidas, assim como o tempo ótimo de tratamento [13]. O ensaio posterior que estabelece o critério de aceitação do tratamento é detalhado na seqüência.

7.1.3 Execução

Na execução desses tratamentos, são parâmetros chave o anodo, o eletrólito, a fonte de tensão e/ou corrente, o sistema de controle e a extensão das regiões de reparo.

Anodo

O anodo debe fornecer a corrente requerida e garantir uma correta distribuição da mesma ao longo das armaduras que vão ser tratadas. Em geral, o anodo deve ficar [8] aderido à superfície do concreto e ser aplicável a diferentes tipos de superfícies (na horizontal, vertical, em curva, etc.).

Para cada uma das técnicas, as peculiaridades a considerar são:

Proteção catódica

Neste caso a instalação é permanente, portanto os anodos devem ser duráveis, não acarretar carga adicional importante e não pressupor uma mudança na estética da estrutura.

Os sistemas anódicos podem ser:

- **Por corrente impressa**

  Uma malha ajustada à superfície da estrutura e coberta com uma capa de material cimentante. A mais utilizada é a de titânio ativado: É muito durável (entre 25-100 anos de serviço) e proporciona uma densidade de corrente máxima de 100 mA/m^2.

  Uma capa condutora e eletroativa (pintura) cobrindo a superfície. A principal vantagem deste tipo de anodo é que não requer uma capa cimentícia adicional e que é fácil de aplicar para todo tipo de superfícies. Proporciona uma densidade de corrente máxima de aproximadamente 30 mA/m^2 e sua vida em serviço poderia chegar a até 10-15 anos [8].

- **Por anodo de sacrifício**

  São sistemas muito mais simples. Sua principal desvantagem é que o concreto apresenta resistência elétrica elevada, e portanto sua eficácia nem sempre é garantida.

  Os anodos mais utilizados são:

  a) Capas termopulverizadas de Zn e Al, assim como de ligas de Al.

  b) Anodos de sacrifício colocados em orifícios executados ao longo da estrutura, que são posteriormente cobertos com material cimentante.

Extração eletroquímica de cloretos e realcalinização

Para a aplicação destas técnicas ou métodos utiliza-se a corrente impressa, empregando malha de titânio ativado ou mesmo aço carbono, que se consome por corrosão no tratamento. Neste último caso, o concreto pode ficar manchado de óxido, e terá de ser limpado. À diferença da proteção catódica, com instalação permanente, neste caso os anodos não são cobertos com uma capa de material cimentante, porém são introduzidos em um eletrólito.

No caso de EEC, o eletrólito é geralmente água de consumo normal ou solução alcalina, enquanto que na realcalinização utiliza-se uma solução 1 M de Na_2CO_3. Este eletrólito pode estar impregnando polpa de celulose, que se deposita na superfície mediante projeção ou diretamente em «reservatórios» selados à superfície do concreto.

Fontes de tensão/corrente

Neste tipo de tratamento, a corrente elétrica é fornecida normalmente mediante transformadores, que permitem obter corrente contínua em baixa voltagem a partir da corrente alternada da rede. É importante um sistema de controle que permita manter constante a corrente fornecida (diferente, dependendo do tratamento) durante longos períodos de tempo. Recentemente, para o caso da proteção catódica, estão sendo utilizadas fontes de energia solar ou eólica.

7.1.4 Sistemas de controle

O sistema de controle da PC é diferente do da EEC e RA por tratar-se de um sistema permanente que fica incorporado à estrutura. Assim, estes dois grupos de métodos serão tratados em separado:

Proteção catódica

Durante a aplicação da proteção catódica, é necessário um sistema de controle que garanta proteção suficiente, evitando a sobreproteção. Para isto, devem ser realizadas medidas periódicas de potencial das armaduras usando eletrodos de referência que são embutidos no concreto no momento da instalação do sistema. Os eletrodos mais utilizados são o de prata/cloreto de prata (Ag/AgCl/KCl-0,5 M) e o dióxido de manganês ($Mn/MnO_2/KOH$-0,5 M). O controle também pode ser realizado mediante corpos-de-prova de despolarização, normalmente de titânio ativado ou grafita [5].

O critério de controle mais utilizado é o chamado de «despolarização» (amortecimento da corrente): as condições de proteção são cumpridas se for verificada uma queda de potencial de pelo menos 100 mV a partir do potencial de desconexão instantânea, em um período entre 4 e 24 horas [2,5]. O potencial de desconexão é medido entre 0,1 e 1 segundo após desconectar a corrente de proteção. Em alguns casos, como em regiões sumersas ou marítimas (zona de variação da maré), pode ser mais conveniente adotar um critério de potenciais absolutos. Assim, a estrutura estaria protegida quando o potencial for mais

negativo que -720 mV em relação a Ag/AgCl [5]. Para evitar sobreproteção, o potencial não deberá baixar de -1100 mV Ag/AgCl para armaduras usuais, ou de -900 mV para aço de protensão. Uma despolarização maior que 250mV é indicativa de sobreproteção [5]. Estas condições estão resumidas na Tabela 7.1.2.

Tabela 7.1.2. Critérios de potenciais de proteção e limites em PC.

	Aço comum	***Aço de protensão***
Potencial típico de proteção	-720 mV (Ag/AgCl)	-720 mV (Ag/AgCl)
Potencial limite	-1100 mV (Ag/AgCl)	-900 mV (Ag/AgCl)

Extração de Cloretos e Realcalinização

Durante a aplicação destes tratamentos é necessário fazer um controle do sistema para garantir os resultados desejados. Assim, é necessário verificar a todo momento a presença de eletrólito ou umidade suficiente na polpa de celulose para garantir a conexão elétrica do sistema. Mesmo assim, é necessário um controle sobre a densidade de corrente aplicada (indicativa de possíveis fugas de líquido, curto-circuitos, etc) e a garantia de que o potencial necessário para fornecê-la não implicará riscos para os trabalhadores.

7.1.5 Extensão da região a tratar

Para este tipo de tratamento, denomina-se «região» à parte da estrutura com seu próprio sistema anódico, fonte de tensão/corrente e sistema de controle.

Foto 7.1.1. Extração de cloretos: aplicação do eletrólito sobre a malha metálica (STAP).

Quanto menores as regiões, mais simples torna-se o sistema de controle e a comprovação da ausência de curto-circuitos. Ademais, se em uma estrutura existem partes que necessitam diferentes densidades de corrente ou com diferenças importantes de resistividade, estas se dividem em regiões separadas.

Em Extração de cloretos e Realcalinização, como norma geral, não é recomendado que as regiões tenham uma extensão maior que 100 m^2. (Foto 7.1.1)

7.1.6 Finalização do tratamento: critérios de aceitação

Como já foi comentado, a proteção catódica é um tratamento permanente que fica integrado à estrutura até o fim (da vida útil) de serviço da mesma. No entanto, a EEC e RA são tratamentos pontuais que terminam quando foram alcançados os objetivos dos mesmos. A este respeito, cabe frisar que dada a novidade deste tipo de métodos, eles podem ser considerados em certo sentido como métodos experimentais, e a pesquisa nesta área continua para estabelecer os parâmetros ótimos, assim como os critérios de aceitação adequados.

No caso de EEC, não existem normas que fixem os critérios de aceitação. Portanto, os mesmos serão determinados pelo proprietário da estrutura conjuntamente com o responsável da aplicação do tratamento. A princípio, o processo de EC terminaria quando os cloretos residuais, analizados sobre testemunhos retirados a intervalos regulares, estiverem dentro de limites aceitáveis, que segundo as normas vigentes na atualidade deveriam ser inferiores a 0,4 %, em massa de cimento. É preciso dizer que, dado que a eficácia do tratamento diminui conforme este progride, chega um ponto em que por mais tempo que se esteja aplicando o campo elétrico, a concentração de cloretos não diminui. Se os perfis residuais resultantes não são satisfatórios para a paralização da corrosão, é necessário esperar a redistribuição dos íons na matriz e aplicar uma segunda etapa de extração.

Quanto à realcalinização, o projeto de norma da CEN publicado em 2000 apresenta como critério de aceitação e finalização do tratamiento a passagem de uma carga total de 200 A h/m^2 [7]. No entanto, vários autores afirmam que essa quantidade de carga transmitida pode ser insuficiente para alguns tipos de concretos [14-16], e assim este critério pode não ser aplicável em certos casos. O critério mais comumente utilizado é o da retirada de testemunhos e determinação da frente de carbonatação residual, mediante pulverização de fenoftaleína (mudança de cor para pH 9). Alguns autores [14] afirmam que é mais apropriado o uso de timolftaleína, cuja mudança de cor ocorre para pH em torno de 10.

Quer dizer, em EEC e RA, a base para interromper o tratamento será dada pelos resultados dos ensaios de cloretos e pH em testemunhos retirados após a execução do processo.

Outro critério de aceitação que pode ser adotado, tanto para EEC como para RA, é o de garantir a repassivação das armaduras mediante a realização de mapas de potencial ou medições da velocidade de corrosão *in loco* empregando a técnica de resistência de polarização. Para este tipo de medidas após os processos de EEC ou RA, é necessário interpretar os resultados obtidos de forma muito cuidadosa, já que inicialmente as armaduras se encontram muito polarizadas, e a despolarização ocorre lentamente [17-19], com o que decorrido pouco tempo (inclusive vários meses depois) os valores absolutos obtidos não devem ser interpretados da mesma forma que em uma estrutura não tratada.

7.1.7 Durabilidade

O conceito de durabilidade do tratamento aplica-se à EEC e à RA, por ser a PC um sistema permanente integrado à própria estrutura, e assim sua durabilidade, se for realizado um controle adequado, é a da vida da estrutura.

A durabilidade de um tratamento de extração de cloretos e RA depende da porcentagem remanescente de cloretos que restaram na estrutura após o tratamento, assim como o pH final alcançado na fase aquosa dos poros do concreto. Se o teor de cloretos ficou abaixo do nível crítico, inclusive depois da redistribuição dos cloretos remanescentes, e posteriormente são aplicados tratamentos que impeçam ou retardem a nova penetração de cloretos (tratamentos hidrofóbicos, por exemplo), a durabilidade deste tipo de método é estimada superior a 10 anos (dado que estes métodos são bastante novos, não existem casos documentados e acompanhados posteriormente de aplicações superiores a este período de tempo). No que diz respeito à realcalinização, como na EEC, não se dispõe de dados além de cerca de 10 anos após a aplicação dos tratamentos, podendo-se dizer que em geral estes tratamentos são duráveis [20]. No caso de RA, a durabilidade do tratamento depende do tipo de cimento [15], sendo menos durável para cimentos com adições.

Em qualquer caso, recomenda-se proteger a estrutura (pinturas) e realizar inspeções periódicas da mesma (pela medição da velocidade de corrosão ou a realização de mapas de potencial) após o tratamento e repetir o mesmo quando novamente se dispor de valores de corrosão ativa das armaduras.

7.1.8 Exemplos de casos reais

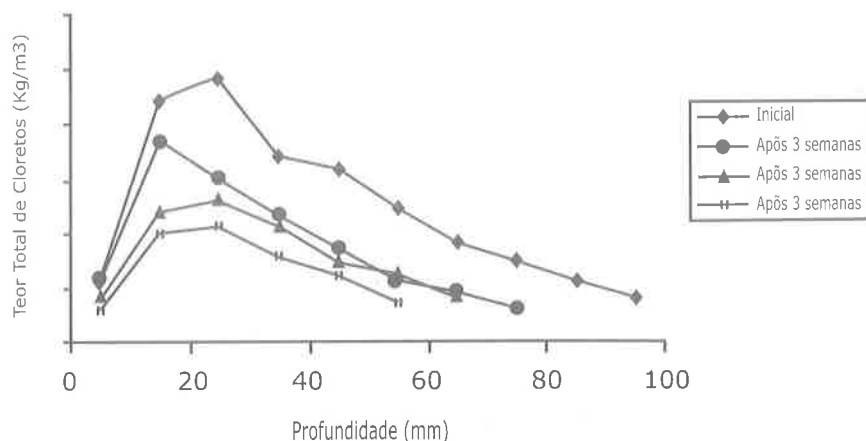



Figura 7.1.7. Perfil de cloretos durante o tratamento.

Na bibliografia podem ser encontrados vários casos de aplicação destas técnicas a estruturas em serviço. A bibliografia mais abundante corresponde à proteção catódica [21-29], encontrando-se aplicação em pontes, túneis, edifícios, solos, etc. Com relação à EEC, podem ser encontrados exemplos de aplicação nas referências [17, 30-32]. Em [17] e [32] encontram-se também aplicações do método de realcalinização.

O processo de extração de cloretos deve dar-se por concluído quando é atingida a redução requerida para o teor de cloretos no concreto. Na Figura 7.1.7 são apresentados os perfis de cloretos obtidos por BENNETT e SCHUE [8] em um pilar de ponte.

7.1.9 Efeitos secundários

Também neste Capítulo 7 é necessário abordar problemas potenciais na proteção catódica, já que a degradação do concreto por efeito da mesma é muito rara. Os efeitos secundários que devem ser considerados são os mesmos que para o caso de EEC e RA, e serão mencionados a seguir:

Reação Álcali-Agregado

Como já foi comentado, há certos aspectos a considerar antes de começar o tratamento, dado que os métodos eletroquímicos vão aumentar a alcalinidade do concreto, e poderiam ativar a reação álcali-agregado caso os agregados da matriz forem reativos. O maior perigo ocorre no caso de EEC, já que o concreto neste caso é alcalino, e a partir daí está aumentando a quantidade de álcalis.

No caso de RA, o risco é menor já que o concreto é carbonatado. Alguns estudos [33] têm mostrado que um concreto com agregados expansivos totalmente carbonatado e posteriormente submetido a RA expande-se menos que um concreto não carbonatado tomado como referência. Em qualquer caso, recomenda-se estabelecer a reatividade potencial dos agregados, e desaconselham-se estes tratamentos caso os resultados sejam de agregados reativos.

Fragilização por hidrogênio

Como já foi comentado, dentre os pontos a considerar antes do tratamento, ao ativar a armadura do catodo, ocorre o desprendimento de hidrogênio por hidrólise da água, o que acarreta risco de fragilização do aço, principalmente no caso de protensão.

Por isso, para tais tipos de aço é desaconselhável a aplicação de EEC e RA. No caso de PC, a polarização é muito menor, pelo que se considera que o tratamento é seguro sempre que o potencial se mantenha mais positivo que -900 mV Ag/AgCl [5].

Degradação do concreto por ataque ácido

Durante a reação anódica é produzida acidificação do eletrólito. Este ácido reage com as espécies alcalinas da superfície do concreto. Na PC, dadas as baixas densidades de corrente empregadas, este problema é normalmente desprezível. Nos tratamentos EEC e RA, se após a retirada do dispositivo for verificado um ataque na superfície do concreto, recomenda-se protegê-la aplicando um revestimento de superfície apropriado.

Perda de aderência concreto/armadura

Para potenciais muito negativos, como no caso de EEC e RA, ocorre o desprendimento de H2, com a possível conseqüência de perda de aderência entre a armadura e o concreto [21]. Na referência [35] foi estudada a perda de aderência em função da densidade de carga transmitida, entre 600 e 5000 Ah/m^2 de aço, encontrando-se uma redução significativa da aderência, embora com resultados contraditórios para elevadas densidades de carga transmitidas.

Mudanças microestruturais na matriz de concreto

A passagem de corrente através do concreto implica o movimento das espécies iônicas contidas na fase aquosa dos poros, com a conseguinte perturbação dos equilíbrios sólido-líquido da matriz. Por isso, este tipo de tratamento (via de regra, EEC e RA) induz um aumento na porosidade total do concreto, assim como uma mudança na distribuição do tamanho de poros [36].

Este efeito não foi avaliado para as pequenas densidades de corrente correspondentes à PC.

7.1.10 Custos

Estabelecer ou determinar o custo de um determinado tratamento implica grande quantidade de parâmetros, de forma que é bastante arriscado dar uma indicação do mesmo, e além disso em cada país o custo dependerá da disponibilidade tecnológica, adequação, etc. locais.

Como guia orientativo, enfatizando uma vez mais que deve ser tomado como simples indicação, na referência [8] são apresentados os seguintes custos: proteção catódica por pintura condutora: 130 Dólares por metro quadrado; proteção catódica com malha de titânio e revestimento de base cimento, entre 260 e 390 Dólares por metro quadrado; o custo da EEC é superior a 195 Dólares por metro quadrado, e o da RA é ao redor de 130 Dólares por metro quadrado.

A recuperação convencional pode ser considerada na faixa entre 65 e 650 Dólares por metro quadrado.

7.2 Revestimento de Proteção da Armadura

As armaduras internas nas estruturas de concreto poderão ser protegidas contra a corrosão com a aplicação de revestimentos em sua superfície. Estes podem ser de metais mais resistentes à corrosão que o aço, como é o caso do zinco, ou podem ser revestimentos orgânicos à base, por exemplo, de resina epóxi. No primeiro caso, o zinco, além de agir como barreira, proporciona ainda a proteção catódica do aço quando o revestimento é danificado e o aço fica localmente exposto.

As armaduras revestidas com resina epóxi foram utilizadas pela primeira vez em uma ponte nos EUA. Durante os anos 70, apenas as armaduras mais expostas eram revestidas com resina epóxi, porém a partir dos anos 80 passou-se a aplicar o revestimento em todas as armaduras do elemento estrutural para evitar a ocorrência de corrosão intensa em locais onde se verificava a ruptura do revestimento.

Já as armaduras galvanizadas começaram a ser utilizadas nas estruturas de concreto armado desde os anos 30, para situações de exposição a ambientes agressivos [40].

7.2.1 Armaduras galvanizadas

A galvanização pode ser obtida por imersão das barras de aço em um banho de zinco fundido a cerca de 450 °C. Na superfície do aço forma-se um revestimento composto por camadas de liga zinco-ferro (Zn-Fe) de composição distintia, em conseqüência da reação entre os dois materiais. A proporção de ferro vai diminuindo, sendo a camada externa do revestimento constituída apenas de zinco.

Os produtos protetores do zinco que formam no concrto resultam da reação

do zinco com a solução intersticial alcalina existente na rede de poros do concreto, formando zincato de cálcio hidratado, com liberação de hidrogênio, H^2:

$$2Zn+Ca(OH)_2+6H_2O \rightarrow Ca[Zn(OH)_3]_2.2H_2O+2H_2\uparrow$$

A formação deste composto consome cerca de 10 μm de zinco da camada externa do revestimento. As camadas de zinco puro (camadas mais externas) dão origem à formação de películas de produtos de corrosão mais protetoras que as camadas mais internas constituídas por liga Zn-Fe.

A velocidade de corrosão do aço galvanizado no concreto carbonatado é muito inferior à do aço não galvanizado. Por outro lado, os produtos de corrosão do zinco são menos expansivos e ligeiramente mais solúveis no concreto que os óxidos de ferro, podendo então difundir-se e alojar-se na interface metal/concreto, reduzindo assim a tendência de fissuração do concreto.

Se o concreto estiver contaminado com íons cloreto, as armaduras galvanizadas também apresentarão melhor comportamento, pois a concentração de cloretos necessária para que ocorra a despassivação do zinco é de 4 a 5 vezes superior à do aço. Por outro lado, quando o revestimento fica parcialmente destruído, as regiões remanescentes atuam como anodos de sacrifício e protegem o aço catodicamente, retardando sua corrosão.

Execução

A espessura total do revestimento necessário para garantir a proteção do aço das armaduras depende do meio agressivo de exposição. De qualquer maneira, não deverá ser inferior a 100 μm para permitir a formação da película de passivação à custa da camada de zinco, nem superior a 200 μm para não prejudicar a aderência do revestimento.

Em diversos países, como nos EUA [41,42], já existe normalização para armaduras galvanizadas.

Aspectos a Considerar

O uso de sistemas mistos de armaduras galvanizadas e não galvanizadas requer que as mesmas encontrem-se eletricamente isoladas. Nas regiões de corte, dobra e solda deve ser garantida a reposição do revestimento.

Observe-se que a presença de um elevado teor de álcalis no concreto pode comprometer a formação da película protetora na superfície do zinco durante a hidratação do cimento.

Variações bruscas na umidade do concreto podem afetar negativamente o processo de passivação das armaduras galvanizadas, e portanto recomenda-se a cura adequada do concreto.

A liberação de hidrogênio que acompanha a formação dos óxidos de zinco e

dos zincatos no início da hidratação do cimento no concreto reduz temporariamente a aderência entre o concreto e o aço galvanizado, embora a longo prazo possam ser atingidos valores até superiores aos que são alcançados com barras de aço não galvanizado.

7.2.2 Armaduras revestidas com resina epóxi

A aplicação dos revestimentos à base de resina epóxi nas armaduras de aço pode ser efetuada de determinadas formas: por pintura ou imersão utilizando resinas líquidas, por passagem do aço pré-aquecido em um leito fluidificado de resinas em pó, as quais se fundem em contato com o metal, ou por pintura eletrostática com resinas em pó. Estes revestimentos geralmente apresentam boa resistência química em meio alcalino.

Os revestimentos à base de resina epóxi, quando aplicados ao aço, formam uma película que age como barreira física, sendo especialmente impermeáveis aos íons cloreto. Quando se encontram em perfeitas condições, estes revestimentos apresentam uma boa capacidade de proteção das armaduras em concretos fissurados.

Execução

A espessura destes revestimentos deverá situar-se entre 180 µm e 300 µm, de modo a não comprometer sua flexibilidade e garantir uma proteção eficaz das armaduras. Espessuras inferiores a 250 µm não afetam a aderência ao concreto, porém valores superiores podem levar a reduções de 60 %.

A resistência dos revestimentos obtidos a partir de resinas sólidas é superior à dos obtidos a partir de resinas líquidas, sendo ambos estáveis até temperaturas de 200 ºC.

Existe normalização para estas armaduras, citando-se a Inglaterra [43] e os EUA [44].

Aspectos a Considerar

O revestimento deverá apresentar-se contínuo e sem poros, fissuras ou outros danos, pois a ocorrência destas anomalias promove a formação de macrocélulas de corrosão no concreto exposto a ambientes agressivos, resultando assim no aparecimento prematuro da corrosão.

Deste modo são necessários cuidados especiais na aplicação do revestimento, no manuseio posterior das armaduras revestidas e na colocação do concreto, e portanto em estruturas pré-fabricadas poderá ser esperado um bom desempenho destes revestimentos.

Na Foto 7.2.1 verifica-se a ocorrência de corrosão devido à ruptura do filme de resina, em conseqüência da dobra efetuada em obra.

Foto 7.2.1. Corrosão devida à ruptura do filme de resina de uma armadura (Midwest Galvanizing Group Inc.)

O uso dos revestimentos à base de resina epóxi inviabiliza a aplicação posterior de tratamentos eletroquímicos.

7.2.3 Comparação entre revestimentos galvanizados e epóxi

Na Tabela 7.2.1 são apresentados alguns aspectos comparativos entre os diferentes tipos de revestimentos utilizados nas armaduras de aço no concreto [44].

Tabela 7.2.1. Comparação entre os diferentes revestimentos aplicados nas armaduras de aço.

TIPO	*GALVANIZAÇÃO*	*RESINA EPÓXI*
Influência no aço	Nenhuma	Nenhuma
Temperaturas Extremas	Suporta 200-300 ºC sem danos	Tolera 200 ºC, apesar de que acima dos 100 ºC podem ocorrer problemas de aderência concreto/aço
Aderência ao concreto	Desenvolvimento mais tardio nos tempos iniciais porém no final acaba sendo igual à do aço não revestido	Redução em média de 15 % em relação ao aço não revestido; Podem causar perdas de aderência com cargas inferiores.
Em concreto carbonatado	Benéfico	Não existem referências de grandes problemas em sua aplicação
Em concreto contaminado com cloretos	*Cloreto adicionado ao concreto*: redução do tempo de serviço devido à formação de pites; *Cloreto do exterior*: teores superiores a 1%-1,5% em relação ao cimento podem ser prejudiciais se o concreto sofre períodos cíclicos de umedecimento	Resistem bem aos íons cloretos (se não se encontram excessivamente danificados); Há registros de experiências muito negativas
Em concreto fissurado	Velocidade de corrosão acelerada em fissuras de abertura superior a 0,3 mm (dependendo da espessura do cobrimento)	Redução do perigo de corrosão (se não se encontra danificado)

7.3 Armaduras Especiais

As armaduras especiais que vêm sendo utilizadas são de aço inoxidável ou de plástico reforçado com fibras. As armaduras de aço inox apresentam maior resistência à corrosão que as de aço comum, enquanto que as armaduras de plástico reforçado com fibras não se corroem por carbonatação nem por ação de cloretos.

O uso de armaduras de plástico reforçado com fibras apresenta algumas dificuldades, como por exemplo no que se refere ao nível do dimensionamento estrutural, pelas dificuldades associadas à dobra das barras.

O estudo da aplicação dos aços inoxidáveis no concreto teve um apreciável desenvolvimento no início dos anos 80 no Japão e na Europa, e nos EUA na década de 90. No Reino Unido, Itália, Dinamarca e Alemanha os aços inox mais utilizados são do tipo ASI 304 e 316, que estão disponíveis em diferentes diâmetros, que podem ir até 40 mm.

Já existem várias estruturas em diversos países onde foram aplicadas armaduras de aço inox: pontes, áreas de estacionamento e estruturas junto a regiões marítimas.

O estudo do uso de armaduras de plástico reforçado com fibras no concreto teve início nos anos 90, já havendo barras disponíveis no mercado em alguns países, como a Inglaterra e os EUA. Nos anos 90, seu uso extendeu-se aos EUA, Canadá e Japão. A Europa mantém a liderança no desenvolvimento destes materiais, apresentando também um maior número de aplicações práticas.

7.3.1 Armaduras de aço inoxidável

Embora este tipo de armadura seja sensível à corrosão localizada devida à ação dos íons cloreto, ela é compatível com um teor crítico de cloretos que pode ser de 2 a 8 vezes superior ao do aço comum. Na Tabela 7.3.1 são apresentados os teores críticos de cloretos compatíveis com os diferentes tipos de aó inox [45].

Por este motivo, o uso de armaduras de aço inoxidável pode constituir um atrativo meio de prevenção contra a corrosão nas estruturas de concreto armado, especialmente quando expostas a ambientes bastante agressivos. Mesmo depois de iniciada a corrosão, a fissuração e delaminação do cobrimento não é muito significativa devido à corrosão desenvolvida ser do tipo localizada (por pites), e portanto com volume reduzido de produtos de oxidação.

Execução

No concreto são geralmente utilizadas armaduras de aço inoxidável do tipo austenítico, ferrítico e austenítico-ferrítico. O aço inoxidável é geralmente usado preventivamente em regiões localizadas das estruturas de concreto armado, quando sujeitas a elevadas condições de agressividade.

Os aços austeníticos são os que apresentam melhor comportamento; os aços ferríticos, mais econômicos, podem ser adequados em situações de menor agressividade. A avaliação da resistência à corrosão pode ser realizada por meio do número equivalente da resistência à corrosão por pites, PRE, podendo ser determinado pela equação:

$$PRE = \%Cr + 3,3\%Mo + 16\%N$$

Tabela 7.3.1. Teor crítico de cloreto para os aços inox em comparação com outros.

TIPO DE AÇO	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)	TEOR CRÍTICO DE CLORETO (em % massa de cimento)	MELHORIA NA RESISTÊNCIA À CORROSÃO RELATIVA AO AÇO DE CONSTRUÇÃO
405 FERRÍTICO	13Cr0.07Ni0.09Mo0.36Mn	1,0	> 2 vezes
430 FERRÍTICO	17Cr0.18Ni0.17Mo0.39Mn	1,9	> 4 vezes
302 AUSTENÍTICO	18Cr8.8Ni0.18Mo0.78Mn	1,0-1,9	> 2 vezes
304 AUSTENÍTICO	18Cr8Ni	3,5-5,0	> 8 vezes
SOLDADO 304	18Cr8Ni	1,0-2,0	> 2 vezes
315 AUSTENÍTICO	17Cr10.1Ni1.4Mo1.6Mn	> 3,2	> 8 vezes
316 AUTENÍTICO	18Cr10Ni3Mo	3,5-5,0	> 8 vezes
SOLDADO 316	18Cr10Ni3Mo	1,2-2,0	> 2 vezes
316 AUSTENÍTICO	17Cr12Ni2.1Mo1.9Mn	> 3,2	> 8 vezes

Quanto maior o número PRE, mais resistente à corrosão será o aço inox, mas também mais elevado será seu custo.
Segundo NEUHART [46], os tipos de aço inox mais adequados para as diferentes condições de exposição são os indicados na Tabela 7.3.2.

Tabela 7.3.2. Tipos de aço inox mais adequados para as diferentes condições de exposição.

	Classe de resistência X	Classe de resistência Y	Classe de resistência Z
Nível de corrosão A	304L	304LN, AISI240, 316LN	316LN, AISI450, AISI240
Nível de corrosão B	316L	304LN, 316LN, AISI240	318, AISI450
Nível de corrosão C	316L, 317L	316LN, 317L/M/N, AISI209	AISI318, AISI209
Nível de corrosão D	316L, 317L	318, 316LN, 317L/M/N	318, AISI209, Super duplex

Níveis de corrosão:

A – meio ligeiramente salino e moderado;
B – meio altamente salino, área de gelo/degelo;
C – instalações costeiras, freqüentemente expostas à água do mar;
D – instalações costeiras, zona de variação da maré, severa exposição à água do mar

Níveis de resistência:

X – tensão de escoamento: 207-380 MPa;
Y – tensão de escoamento: 380-621 MPa;
Z – tensão de escoamento: >621 MPa.

O Reino Unido [47] e os EUA [48] possuem normas onde são apresentadas as características requeridas dos aços inox para o concreto armado, dentre elas: composição química, comportamento mecânico e resistência à corrosão.

Aspectos a Considerar

As armaduras inox podem ser usadas em conjunto com as armaduras comuns, aplicando os aços inox nos estribos, cintamento ou armaduras principais mais expostas de certos elementos. Em situações de exposição nas quais o aço comum (aço carbono) inicia processos de corrosão, a presença do aço inox pode acelerar a corrosão do aço comum.

A solda debilita a resistência à corrosão dos aços inox, como se observa na Figura 7.3.1[49].

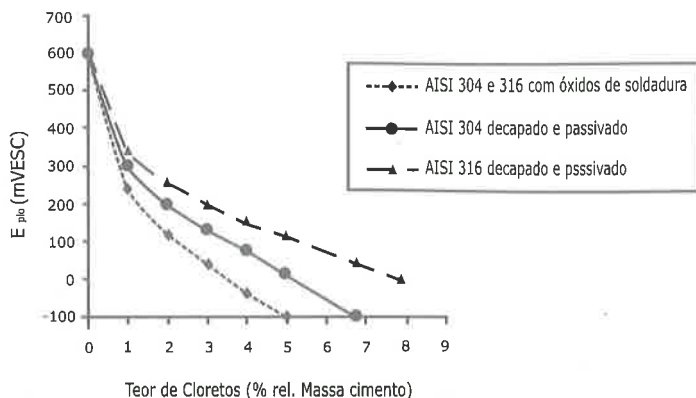



Figura 7.3.1. Variação do potencial na região de solda com o teor de cloretos para os aços inox AISI 304 e 316.

7.3.2 Armaduras de plástico reforçado com fibras, PRF

As armaduras de plástico reforçado com fibras são em geral fabricadas por extrusão, onde as fibras são submersas em uma matriz polimérica e posteriormente moldadas, conferindo assim sua forma final. Não são corroídas pela ação dos íons cloretos ou por reduções do pH resultante da carbonatação do concreto.

Execução

A matriz polimérica pode ser de um dos seguintes tipos:

Matriz Polimérica Termoendurecida (poliéster, vinil-éster ou epóxi), aplicada com baixa viscosidade, possibilitando o envolvimento completo das fibras sem que seja necessário recorrer a altas temperaturas ou a altas pressões;

Matriz Polimérica Termoplástica (náilon e PET), que apresenta maior viscosidade, dificultando assim o envolvimento das fibras contínuas sem que se recorra a técnicas específicas de produção. Esta matriz possui a vantagem de possuir elevada resistência ao impacto, elevada resistência à ruptura, assim como permitir o armazenamento por elevados períodos desde que devidamente protegida da umidade.

As fibras mais utilizadas são as de vidro, de carbono e de aramida, dando origem aos compósitos indicados a seguir:

- Plásticos reforçados com fibras de vidro, PRFV[1];
- Plásticos reforçados com fibras de carbono, PRFC[1];
- Plásticos reforçados com fibras de aramida, PRFA[1].

Tabela 7.3.3. Comparação das propriedades mecânicas das armaduras FRP com as armaduras de aço carbono. Nota: N/D – Não disponível.

Propriedades	Armaduras de Aço (barras)	Cabos Aço	Barras PRFV[1]	Cabos PRFV[1]	Cabos PRFC[1]	Cabos PRFA[1]
Resistência à Tração, MPa	483-690	1379-1862	517-1207	1379-1724	165-2410	1200-2068
Tensão de Escoamento, MPa	276-414	1034-1396	NÃO APLICÁVEL			
Módulo de Elasticidade, GPa	200	186-200	41-55	48-62	152-165	50-74
Deformação Limite mm/mm	> 0,10	> 0,04	0,035-0,05	0,03-0,045	0,01-0,015	0,02-0,026
Resistência à Compressão, MPa	276-414	N/D	310-482	N/D	N/D	N/D
Coeficiente de Dilatação Térmica (10^{-6}/°C) (10^{-6}/F)	11,7 6,5	11,7 6,5	9,9 5,5	9,9 5,5	0,0 0,0	- 0,1 - 0,5
Densidade	7,9	7,9	1,5-2,0	2,4	1,5-1,6	1,25

O desempenho destes materiais compósitos é afetado essencialmente pelos seguintes fatores: orientação, comprimento, forma e composição das fibras, propriedades mecânicas da matriz (resinas) e aderência entre as fibras e a matriz polimérica.

Na Tabela 7.3.3 são apresentadas algumas características mecânicas destas armaduras, determinadas na direção longitudinal. A variação destas características resulta do maior ou menor volume de fibras, do diâmetro e do sistema de pratos ou garras usado no ensaio [50].

Na Foto 7.3.1 são apresentadas diversas armaduras de PRF utilizadas na construção civil.

Aspectos a Considerar

O modo de produção destas armaduras torna sua superfície lisa, o que impede uma boa aderência ao concreto envolvente. Sendo assim, tornam-se

[1]N.T.: Em inglês, GFRP (Glass Fiber Reinforced Plastic), CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) e AFRP (Aramid Fiber Reinforced Plastic).

necessários meios adicionais para melhorar a ligação entre estes dois materiais [51], o que pode ser alcançado por impregnação de areia por enrolamento helicoidal ou por nervuras pré-moldadas. É fundamental, pois, que a resina apresente boas propriedades mecânicas.

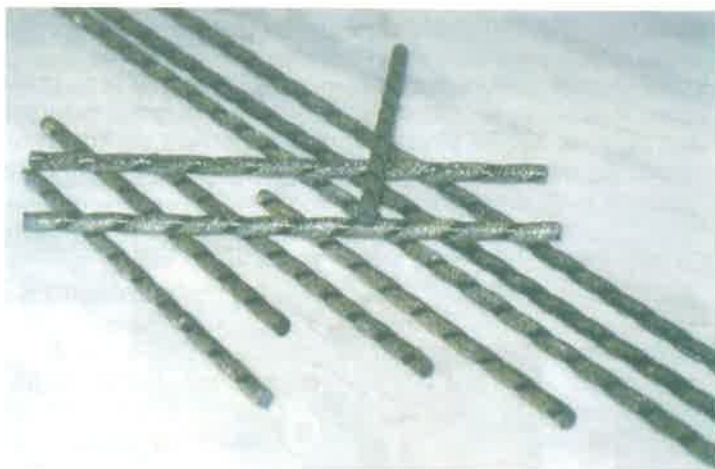



Foto 7.3.1. Armaduras PRF (MBT).

Relativamente às armaduras de aço, as de PRF apresentam as seguintes **vantagens**:

- Elevada relação resistência/densidade;
- Excelente resistência à corrosão;
- Excelente resistência à fadiga (PRFC e PRFA);
- Baixo coeficiente de dilatação térmica linear.

Como **desvantagens** podem-se citar:

- Elevado custo (PRFC e PRFA);
- Baixo alongamento na ruptura;
- Elevada relação entre a resistência axial e transversal;
- Baixa resistência aos álcalis (PRFA e em especial PRFV).

7.4 Inibidores de Corrosão

O inibidor de corrosão é um composto químico, líquido ou em pó que, quando introduzido no concreto em quantidades reduzidas, pode evitar ou diminuir a corrosão das armaduras sem afetar negativamente as propriedades físicas ou a microestrutura do concreto.

Estes produtos foram estudados inicialmente para serem incorporados ao concreto como aditivos, porém recentemente outros produtos vêm sendo desenvolvidos para aplicação direta sobre a superfície do concreto endurecido, com capacidade de migração para o seu interior, conforme Figura 7.4.1.

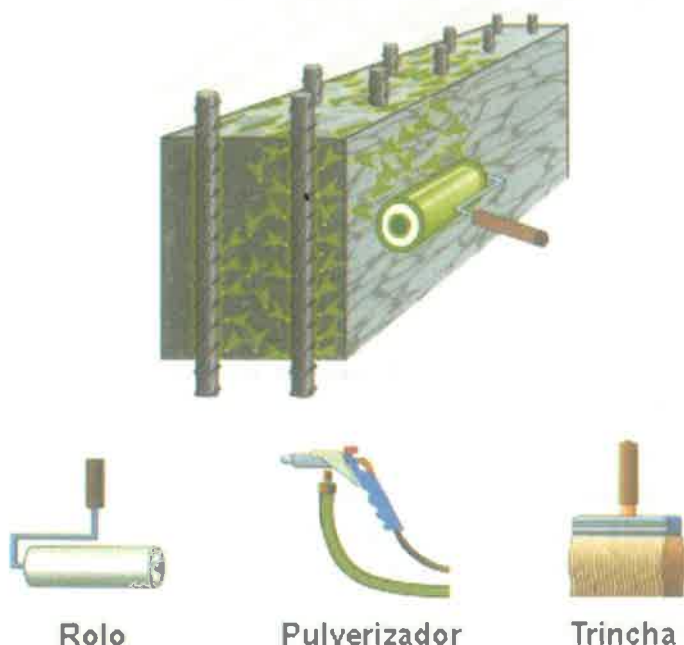



Figura 7.4.1. Aplicação dos inibidores por migração no concreto endurecido (MBT).

Os inibidores de corrosão podem ser de natureza orgânica e inorgânica, sendo geralmente classificados de acordo com sua função:

- **inibidores catódicos:** evitam que ocorram as reações catódicas;
- **inibidores anódicos:** permitem reduzir a velocidade da reação anódica, reagindo com os produtos de corrosão, formando um revestimento protetor na superfície do aço;
- **inibidores mistos:** possuem também o efeito barreira, e assim atuam dos dois modos. O uso desses produtos é especialmente vantajoso no concreto por formarem uma camada adsorvida, sob a qual agem. São essencialmente compostos orgânicos do tipo aminas.

Como inibidores inorgânicos podem citar-se o nitrito de sódio, nitrito de cálcio, cromato de potássio, molibdato de sódio, cloreto estanhoso e, mais recentemente, o fluorfosfato de sódio. Nos orgânicos consideram-se as aminas, ésteres solúveis em água, benzoato de sódio, formaldeído e os ácidos carboxílicos solúveis em água.

O nitrito de cálcio é comercializado como inibidor preventivo da corrosão no concreto desde 1970, e já foi utilizado principalmente nos EUA, Japão e Oriente Médio, com bons resultados. Na Europa, seu uso tem sido muito limitado devido à toxicidade dos nitritos e à existência de legislação ambiental que os proíbe.

O estudo e aplicação dos inibidores de corrosão por migração desenvolveu-se principalmente durante os anos 90, e eles têm sido utilizados apenas em alguns países da Europa, tal como a Dinamarca.

Aspectos a Considerar

O uso destes produtos deve ser feito com cautela, pois além de poderem provocar alterações físicas e mecânicas no concreto, podem ainda acelerar o mecânismo da corrosão se não forem utilizados na proporção adequada. Por outro lado, a eficácia a longo prazo de muitos desses produtos não foi ainda comprovada.

Os inibidores não devem ser prejudiciais ao ambiente.

Muitos inibidores comerciais, em particular os orgânicos, são misturas de produtos, e assim sua ação no mecanismo da corrosão pode ser múltipla e em geral difícil de identificar.

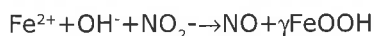
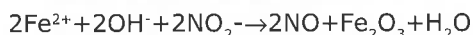
Avaliação

No que ser refere à avaliação da eficácia da ação inibidora da corrosão no concreto de tais produtos, diversos métodos de ensaio eletroquímico e de caráter não destrutivo podem ser utilizados, dentre eles: a medição da evolução do potencial de corrosão e da velocidade de corrosão pela resistência de polarização.

7.4.1 Inibidores inorgânicos

Os inibidores talvez mais estudados desde a década de 50 são os nitritos, os quais podem ser classificados como inibidores anódicos, devido a suas propriedades oxidantes. São em geral usados com aditivos, estabilizando a película passiva de acordo com as reações:

$$2Fe^{2+}+2OH^{-}+2NO_2^{-}\rightarrow 2NO+Fe_2O_3+H_2O$$

$$Fe^{2+}+OH^{-}+NO_2^{-}\rightarrow NO+\gamma FeOOH$$

Esta película passiva atua no sentido de aumentar o valor crítico da quantidade de cloreto necessária para iniciar a corrosão. O nitrito de cálcio é particularmente ativo na presença de íons cloreto no concreto, tendo inclusive a vantagem de não exercer influência significativa na resistência mecânica do concreto.

Para aplicação superficial no concreto endurecido, o inibidor inorgânico que vem sendo mais estudado é o monofluorfosfato (Na_2PO_3F), MFP. Este produto atua por impregnação no concreto endurecido, não devendo ser aplicado em temperaturas baixas. É adsorvido na superfície das armaduras, atuando nas reações anódica e catódica, por efeito de barreira.

Execução

Da maioria dos estudos efetuados conclui-se que existe uma razão crítica entre a concentração de cloretos e a concentração de nitritos, acima da qual a quantidade de inibidor é insuficiente para evitar o início da corrosão. Para alguns pesquisadores esta razão encontra-se entre os seguintes valores:

- 0,7 e 1: ANDRADE [52]
- 1,5 (razão crítica média): BERKE [53]

O MFP é um produto ainda em fase de estudos, desconhecendo-se as concentrações necessárias de inibidor no concreto para que haja inibição da corrosão sob a ação de cloretos ou sob a ação da carbonatação, embora uma relação molar [MFP]/[Cl-]=1,0 tenha sido considerada.

Em bases ou substratos de concreto mais compactos, a aplicação deste produto pode exigir duas demãos a intervalos de tempo de algumas horas. O rendimento deverá ser criteriosamente cumprido obedecendo os boletins técnicos e recomendações do fabricante, de forma a colocar a quantidade de produto necessária para sua ação e concentração no concreto.

Aspectos a Considerar

O uso de concentrações insuficientes de nitritos pode provocar um efeito contrário ao pretendido, ou seja, pode acelerar a corrosão especificamente nas regiões onde o concreto se encontra fissurado.

Os nitritos de sódio e de potássio podem causar perdas de resistência à compressão do concreto de 20 % a 40 %, quando usados em dosagens de 2 % a 6 %.

O MFP não deve ser utilizado como aditivo, pois reage com a água dando flúor e fosfato ou ortofosfato, o que afeta a pega do cimento. Por outro lado, não se conhece seu comportamento a longo prazo. São desconhecidas também as limitações que o produto tem em impregnar o concreto endurecido.

7.4.2 Inibidores orgânicos

Estes produtos atuam essencialmente por adsorção na superfície do aço, formando assim uma película protetora que inibe as reações anódica e catódica. Esta adsorção é devida às características polares do compostos orgânicos utilizados. O filme orgânico repele as soluções aquosas (propriedade hidrofóbica), estabelecendo uma barreira aos ataques químicos e eletroquímicos na superfície do aço, conforme a Figura 7.4.2.

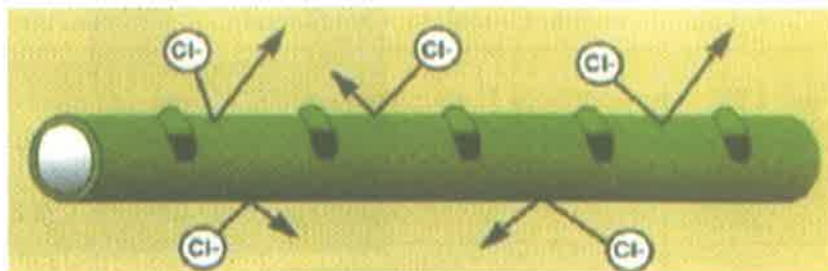



Figura 7.4.2. Película protetora na superfície do aço (MBT).

Execução

A eficácia deste tipo de produtos relativamente à inibição da corrosão depende da espessura de película formada: quanto mais espessa a película, mais eficaz é o inibidor.

Os inibidores orgânicos mais recentes são misturas de agentes tensoativos e de compostos orgânicos ligeiramente polares (aminas e ésteres) na água. Estes inibidores são conhecidos como inibidores da fase vapor ou inibidores voláteis, pois têm a capacidade de difundir-se no concreto endurecido, devido a sua elevada pressão de vapor, inclusive à pressão e temperatura ambientes. A facilidade com que penetram depende da porosidade do concreto e da constituição da fase volátil.

Em sua aplicação deverão ser observados os procedimentos indicados para os inibidores referidos no item 7.4.1.

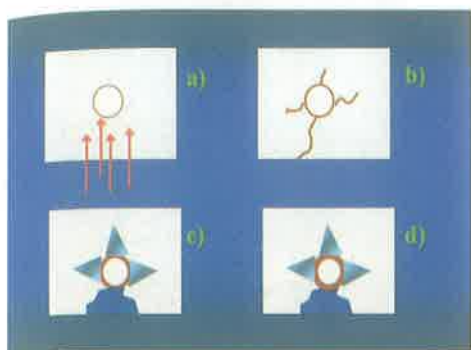
Aspectos a Considerar

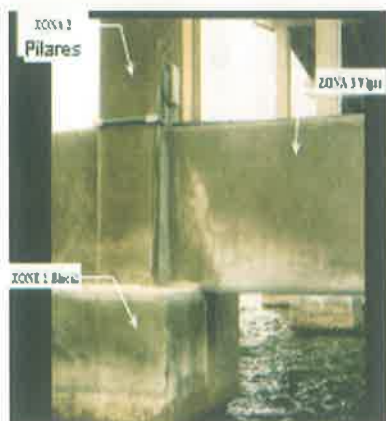
Ainda existem poucos estudos sobre a maioria desses produtos, de modo a permitir avaliar sua eficácia e desempenho ao longo de sua vida útil. De qualquer maneira, algumas evidências mostram que estes produtos reduzem o ingresso de cloreto devido a poderem aumentar a resistividade do concreto.

Na Tabela 7.4.1 são apresentadas algumas propriedades e características conhecidas dos inibidores de corrosão que têm sido mais estudadas ao longo dos anos [54].

Tabela 7.4.1. Ação de alguns inibidores de corrosão no concreto.

CARACTERÍSTICAS	INIBIDORES INORGÂNICOS		INIBIDORES ORGÂNICOS
	Nitritos [114-116]	**MFP** [120-122]	**Voláteis** [124-126]
Resistência à compressão (do concreto)	Aumenta	Diminui	Não significativo
Porosidade do concreto	Não significativo	Reduz por precipitação de fosfato de cálcio	Não foi estudado
Compatibilidade química com o concreto	Boa	Reage em meio alcalino formando fosfato de cálcio, que precipita	Boa
Concentração crítica junto à armadura	$[NO_2]/[Cl^-]=1.5$ (razão molar)	$[MFP]/[Cl^-]=1.0$ (razão molar)	Não é conhecido e existem dificuldades de medição.
Mecanismos da ação inibidora	Inibidor anódico: reconstitui a película passivadora.	Inibidor de adsorção: efeito de barreira.	Não está muito bem definido, embora pareça ser por adsorção, dependendo dos constituintes.
Comportamento a longo prazo	Existem alguns resultados, em concreto fissurado existem controvérsias. Podem ocurrer problemas devido ao consumo do inibidor.	Não existe ainda experiência.	Não existe ainda experiência.
Compatibilidade ambiental	Problemas de toxicidade (situações de lixiviação). Na demolição das estruturas cria resíduos perigosos.	Não existem inconvenientes conhecidos.	As aminas são produtos irritantes.
Método de aplicação	No concreto fresco ou endurecido, por projeção e injeção.	No concreto endurecido por impregnação.	No concreto fresco e endurecido, por impregnação.

7.5 Fotos ilustrativas de sistemas de recuperação de estruturas de concreto danificadas por corrosão de armaduras, cedidas por Dr. Ivan Lasa, da Flórida, EUA

Deterioração progressiva devida à corrosão da armadura.

Anodo de sacrifício com malha de titânio.

Anodo de sacrifício com malha de titânio encapsulado com argamassa projetada.

Anodo de sacrifício com malha de titânio encapsulado com concreto estrutural.

JACKET SYSTEM: MALHA DE TITÂNIO PARA PILAR

FONTES DE ENERGIA PARA CORRENTE IMPRESSA

Sistema de zinco projetado

ARC-SPRAYED ZINC

Sistema de zinco projetado

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bertolini, L., Gastaldi, M., Pedeferri, M.P ., Pedeferri, P ., Redaelli, E., 2 Cathodic protection of steel in concrete and Cathodic prevention, Proceedings COST 521 Workshop, J. Mattila, ed., Tampere, Finland.

NACE, 1990, STANDARD RPO290-90 Cathodic protection of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Structures.

Concrete Society, 1989, Cathodic protection of reinforced concrete, Tech Report no.36, Concrete Society & Corrosion Engineering Association

CUR, 1996, Kathodische bescherming van wapening in betonconstru (Cathodic protection of reinforcement in concrete structures), CUR Tecb Recommendation 45, Gouda, in Dutch

CEN, 2000, Cathodic protection of steel in concrete, EN 12696

Mietz, J ., 1998, Electrochemical rehabilitation methods for reinforced concrete structures, a state of the art report, European Federation of Corrosion Publications No.24, IOM Communications, London.

CEN, 2000, Electrochemical realkalisation and chloride extraction treatments for reinforced concrete -Part 1 Realkalisation, prEN 14038-1 :2000

Bennett, J.; Schue, T. J., «Evaluation of NORCURE Process for Electrochemical Chloride Removal from Steel-Reinforced Concrete Bridges Components», Strategic Highway Research Program, Report SHRP-C-620, 1993,31.

COST 521: «Corrosion of steel in reinforced concrete structures» Final Report on «electrochemical maintenance methods» R. Polder, 2002, Ed. By Romain Wydert 123-164

Paulo Helene, Corrosión de armaduras, São Paulo, IPT, PINI, 1980. p. 17

Sergi, G., Page, C.L., Thompson, D.M., 1991, Electrochemical induction of alkali- silica reaction in concrete, Materials and Structures, 24.359-361

Page, C.L., Yu, S.W., 1995, Potential Effects of Electrochemical Desalination of Concrete on Alkali Silica Reaction, Magazine of Concrete Research, 47, 23-31

Polder, R.B., Hondel, A.J. van den, 1992, Electrochemical realkalisation and chloride removal of concrete; state of the art, laboratory and field experience, Proc. RILEM International Conference Rehabilitation of Concrete Structures, Melbourne D. Ho & F. Collins, eds Hondel, A.J. van den, Polder, R.B., 1992, Construction Repair, September/ October 1992, p. 135-148.

Castellote, M., Andrade, C and Alonso, C., Electrochemical removal of chlorides: Modeling of the extraction, resulting profiles and determination of the efficient time of treatment, Cement and Concrete Research, 30 (2000) 615-621

Pollet, V ., 1999, Re-alkalization: specification for the treatment application and acceptance criteria, annual progress report 1998-1999, COST 521 workshop, Annecy

Pollet, V ., Dieryck, V ., 2000, Re-alkalization: specification for the treatment application and acceptance criteria, annual progress report 1999-2000, COST 521 workshop, Belfast .

Hondel, A.W. M. Van den, Polder, R.B., 1998, Laboratory investigation of electrochemical realkalisation of reinforced concrete, Eurocorr'98, Utrecht

Elsener, B., Zimmermann L., Bürchler, D. and Bohni, H., 1998, Repair of Reinforced Concrete Structures by Electrochemical Techniques -Field Experience, in «Corrosion of Steel in Concrete», EFC Publication No.25, The Institute of Materials, London, 125 –140

Raharinaivo, A., Lenglet, J.C., Toumeur, C. Mahouche, H., Pollet, V., 1998, Chloride removal from concrete by using sacrificial anode, EUROCORR'98, L Utrecht.

Andrade, C., Castellote, M., Sarriá, J., Alonso, C., 1999, Evolution of pore solution chemistry electro-osmosis and rebar corrosion rate induced by realkalisation, Materials and Structures, 32, 427 –436.

Odden, L., 1994, The repasivating effect of electro-chemical realkalisation and chloride removal, Corrosion and corrosion protection of steel in concrete, Proc. Int. Conf., July, Sheffield

COST 509, 1997, Corrosion and protection of metals in contact with concrete, Final report, Eds R.N. Cox, R. Cigna, O. Vennesland, T. Valente, European Commission, Directorate General Science, Research and Development, Brusels, EUR 17608 EN, ISBN 92-828-0252-3.

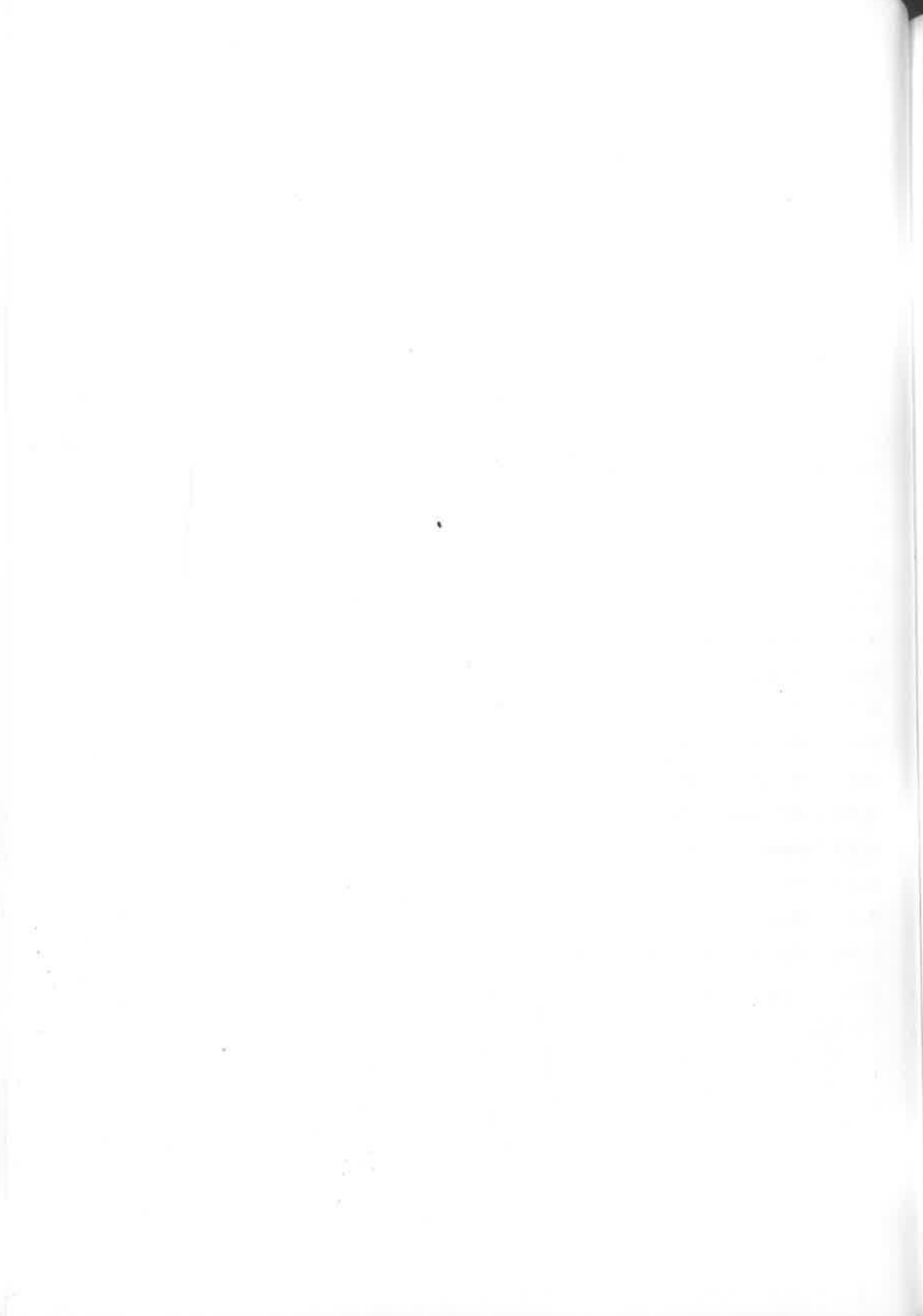
Chaudhary, Z., Chadwick, J., 1997, Cathodic protection of buried reinforcement in concrete structures, Proc. Eurocorr'97, Trondheim, Vol. 1,565-572

Broomfield, J .P ., 2000, Cathodic protection of reinforced concrete structures and case study of a multiple anode trial, Int. J. Restoration of Buildings, 6, (6) 619- 6
Wyatt, B., 1993, Cutting Corrosion Costs of Reinforced Concrete Highway Structures, Construction Repair, July
Polder, R.B., 1998, Cathodic Protection of Reinforced Concrete Structures in .. Netherlands -Experience and Developments, in: Corrosion of reinforcement concrete -monitoring, prevention and rehabilitation, Papers from Eurocorr' Mietz, J., Elsener, B., Polder, R., Eds. The European Federation of Corrosion Publication number 25, The Institute of Materials, London, ISBN 1-86125-08' 172-184
Haldernann, Ch., Schreyer, A., 1998, Ten years of cathodic protection in concrete in Switzerland, in: Corrosion of reinforcement in concrete -monitoring, prevention and rehabilitation, Papers from Eurocorr'97, Mietz, J., Elsener, B., Polder, R., . The European Federation of Corrosion Publication number 25, The Institute Materials, London, ISBN 1-86125-083-5,184-197
Polder, R.B., Nuiten, P.C., 1994, A multi-element approach for cathodic protection of reinforced concrete, Materials Performance, 33, (6) 11-14
Leggedoor, J., Schuten, G.H., 1998, Cathodic protection and cathodic prevention in the management of a reinforced concrete building, Eurocorr Utrecht
Schuten, G., Leggedoor, J., Polder, R.B., 2001, CP for corroding reinforcement in concrete floor elements, Materials Performance, 40, no.1, 22-25
Elsener, B., Mo1ina, M., and Bohni, H., 1993, Electrochemica1 Removal of Chlorides from Reinforced Concrete Structures, Co1Tosion Science, 35, (5-8) 1563-1570
Schmid, M., 2001, Electrochemical ch1oride removal: site example, SIA tec21 127 issue 31-32,21 -23, in German
Raharinaivo, A., Lenglet, J.C., Toumeur, C. Mahouche, H., Pollet, V., 1998, Chloride removal and realkalisation of concrete by using galvanic anodes, -International Conference on Corrosion and rehabilitation of Reinforced Concrete Structures, Orlando, Florida.
Banfill, P.F.G., 1999, Electrochemical re-alkalization, chloride removal and alkali-silica reaction in concrete, annual progress report 1998-1999, COST 521 workshop, Annecy
Bennet, J.E.; Schue, T.S.: «Electrochemical chloride removal from concrete». A SHRP Contract Status Report. Corrosion 90, Las Vegas, Nevada, Paper nº 316, April, (1990).
Vennesland, Ø., «Corrosion of Metals in contact with concrete», ACTION COST 509, Progres Report 1995.
Castellote, M., Andrade, C. and Alonso, C., 1999, Changes in concrete pore size distribution due to electrochemical chloride migration trials. ACI Mat. Journal, 314-319.
Castellote, M., Andrade, C. Alonso ,C., 1999, Mode1ling of the processes during steady-state migration tests: Quantification of transference numbers. Mats. Struct., voI32,180-186.
Castellote, M., Andrade, C. Alonso ,C., 2000, Chloride transference numbers in steady state migration tests. Magazine of Concrete Research, 52, Nº 2, pp 93-100.
Castellote, M., Andrade, C. Alonso, C., 1999, Electrochemical chloride extraction: influence of testing conditions and mathematical modeling. Adv. in Cem. Res., vol 11, no 263-80.
Malisch, Ward R.; Holland, Terence C., «Combating Rebar Corrosion», Concrete Construction, Nov. 2000, pg. 44-48
ASTM A123/ A123M-2000: Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coating on Iron and Steel Products.
ASTM A767/ A767M-97: Specification for Zinc Coated (Galvanized) Steel Bars for Concrete Reinforcement.
BS7295: Part 1: 1990, Specification for Coated Bars e Part 2: 1990, Specification for Coatings.
ASTM A775/ A775M-97: Specification for Epoxy-Coated Reinforcing Steel Bars.
Salta, M.; Fontinha, R., *«Métodos Adicionais de Protección da Corrosión Utilizando Armaduras Revestidas, Aceros Inoxidáveis e Inhibidores de Corrosión»*, Seminário:
Sandberg, P., *«Critical Evaluation of Factors Affecting Chloride Initiated Reinforcement Corrosion in Concrete»*, Report TVBM-3068, University of Lund, Lund Institute of Technology, Sweden, 1995
Neuhart, B., *«Use of Stainless Steel in Reinforced Concrete Structures Status»* International Conference on Corrosion and Rehabilitation of Reinforcement Concrete Structures, Orlando, Dez.1998.

BS6744:1986: Specification for Austenitic Stainless Steel Bars for the Reinforcement of Concrete.
Inspección e Reparación de Estructuras de Hormigón Armado com Corrosión, LNEC, Lisboa, Julho de 1998.
ASTM A955M-1996: Specification for Deformed and Plain Stainless Steel Bars for Concrete Reinforcement.
Pedeferri, P.; Bertolini, L., «La Corrosionne nel Calcestruzzo e negli Ambienti Naturali», McGrawhill, 1996, pg.194.
ACI 440R-96: State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, Reported by ACI Committee 440, Vol.5, 2000.
Katz, A., *«Bond Mechanism of FRP Rebars to Concrete»*, Materials and Structures, Dez.1999, Nº224, Vol.32, pp.761-768.

Andrade, C.; Alonso, C.; Gonzalez, J.A., *«Some Laboratory Experiments on the Inhibitor Effect of Sodium Nitrite on Reinforcement Corrosion Cement»*, Cement Concrete and Aggregates, 1986, Nº2, Vol.8, pp.100-116.
Berke, N.; Rosenberg, A., *«Calcium Nitrite Corrosion Inhibitor In Concrete»*, Admixtures for Concrete Improvement and Properties, Ed. E.Vasquez, Chapman and Hall, 1990, pp.251.
Salta, M., *«Prevención da Corrosión no Hormigón Armado»*, Programa de Investigación, LNEC, Lisboa, Abril 1999, pp.96.

CAPÍTULO 08

Procedimentos de Reforço

CAPÍTULO 08

Procedimentos de Reforço

Autores
Hugo Barrera
Paulo Helene

Fernanda Pereira
Nicolás Moreno

Introdução

Neste capítulo são apresentadas as diferentes possibilidades de reforço de estruturas, tendo em mente que cada caso particular requer um projeto (ou especificação técnica) específico. Assim, são apresentados aqui casos típicos de reforço com os detalhes genéricos para auxiliar o engenheiro na elaboração dos detalhes executivos para a sua obra em particular.

Iniciamos com a identificação preliminar das tipologias de reforço, e assim este capítulo propõe um índice de assuntos ordenado segundo os tipos de elementos estruturais: vigas - pilares - lajes - fundações.

Apresenta-se na Tabela 8.1 uma uma proposição de classificação dos tipos de reforços de estruturas, para discussão e análise da classificação ou ordenação do assunto.

Tabela 8.1. Classificação dos reforços.

a) Técnicas de reforço	Aumento de seção Uso de compósitos Redução ou limitação de esforços Protensão Grauteamento Incorporação de novos elementos
b) Enfoque Estrutural	Reforços diretos com ou sem mudança de seção Reforços indiretos com modificação do sistema resistente ou com incorporação de novos elementos
c) Tipo de deficiência estrutural	Aumento da capacidade a Tração Aumento da capacidade a Cortante Aumento da capacidade a Flexão Aumento da capacidade a Compressão Melhorar a condição de Estabilidade
d) Forma de ação	Reforços ativos que agem sobre as solicitações atuais e as futuras Reforços passivos que agem apenas para novas solicitações
e) Tipo de elemento	Vigas Pilares Lajes Paredes Fundações
f) Técnica construtiva	Concreto Armado Concreto Projetado Concreto com agregado pré-colocado Incorporação de armadura ou reforço Colagem de reforços externos Protensão Injeções (argamassas, pastas, polímeros)

Para o projeto de um reforço estrutural e seleção da técnica a utilizar, devem ser levados em consideração todos os aspectos pertinentes, dentre outros:

- O diagnóstico estrutural;
- condicionantes arquitetônicas e operacionais;
- requisitos estruturais (reforço ativo ou passivo);
- custo;
- prazos.

Assim, é necessário que no processo de seleção e projeto do reforço sejam estabelecidos claramente todos os requisitos e/ou características que este deve cumprir para atingir o objetivo desejado.

A seguir, apresentam-se soluções gerais para os reforços mais freqüentes.

Possibilidade de reforço I empregando suportes novos, conforme Figura 8.1.1.

- redução de esforços com suporte intermediário
- arquitetura permite suportes intermediários

Falha detectada: fissuras verticais em região tracionada

Diminuição da luz inserindo novo pilar

Reforço do vão com incorporação de novo pilar

Reforço do vão mediante marco metálico

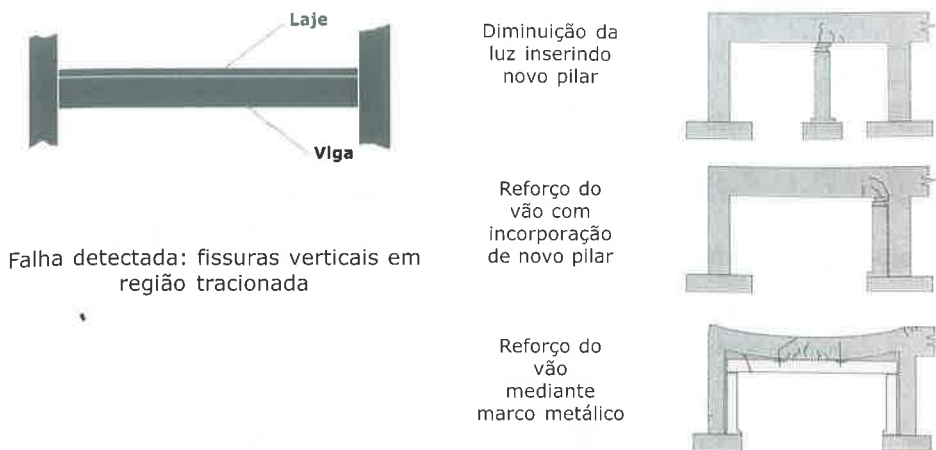



Figura 8.1.1. Reforço de concreto estrutural – suportes.

Objetivo: diminuir a luz da viga, o que redunda em menores tensões e menores deformações para as mesmas cargas.

Procedimentos construtivos:

- descarregar a viga
- escorar as lajes e a viga construir a fundação do(s) novo(s) pilar(es) com pedestal e placa de base, no caso de pilar de aço, e com barras de traspasse, no caso de pilar de concreto.
- inserir o(s) pilar(es), encunhando contra a viga existente
- controle de horizontalidade
- no caso de pilar de concreto armado, concretar até a altura de projeto, deixando que se produza a retração inicial, antes de encunhar.

Materiais usados:

- concreto
- aditivos
- armadura
- fôrmas
- calços para encunhamento
- solda

- pilares (e viga) de aço
- placa base
- ancoragens
- solda

Ferramentas e equipamentos especiais:

- pontaletes telescópicos
- equipamento de escavação
- betoneira
- equipamento de solda

8.2 Reforço de Concreto Estrutural II

Possibilidade de reforço II com aumento de seção, conforme Figura 8.2.1.

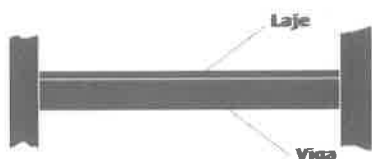
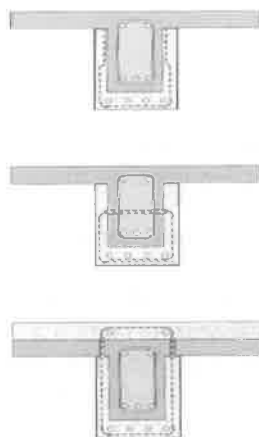
- arquitetura não permite apoios intermediários
- permite aumento de seção

Falha detectada: fissuras verticais em região tracionada

Esquema da solução II: Aumento de seção

Figura 8.2.1. Reforço de concreto estrutural – aumento de seção.

Objetivos: Dotar a viga da seção de concreto necessária para controlar as novas condições. Aproveitar o aumento de seção para alojar novas armaduras de flexão e/ou cortante.

Procedimentos construtivos:

- descarregar a viga
- escorar as lajes e a viga

- desbastar cuidadosamente as faces da viga até as barras.
- perfurar a viga e/ou laje para passar estribos
- perfurar as vigas para ancorar as barras
- limpar muito bem e umedecer
- aplicar ponte de aderência nas superfícies a unir
- inserir novas barras e estribos
- colocar fôrmas
- concretar usando aditivo expansor
- curar por 7 dias

Alternativas de concretagem:

- com concreto tradicional
- com concreto auto-adensável
- com concreto projetado sem retração
- com concreto com agregado pré-colocado

Ferramentas e equipamentos especiais:

- pontaletes telescópicos com placa repartidora
- escarificador mecânico
- furadeira de percussão
- máquina de lavajato

Materiais usados:

- concreto
- aditivo para ponte de aderência
- aditivo expansor
- água
- armaduras
- fôrmas

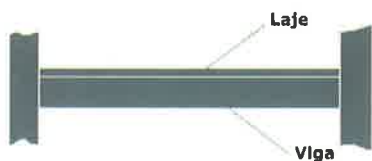
8.3 Reforço de Concreto Estrutural III

Possibilidade de reforço III com chapas metálicas, conforme Fig. 8.3.1.

- arquitetura não permite apoios intermediários
- arquitetura não permite aumento de seção

Objetivo: aumentar a taxa de aço, trabalhando à tração ou compressão.

Procedimentos construtivos para chapas aderidas com epóxi:

- descarregar a viga
- escorar as lajes e a viga, controlar a horizontalidade.
- retirar cuidadosamente pintura, argamassa e/ou pasta superficial.
- polir a superfície do concreto com jato de areia.
- a placa deve ser coplanar e apresentar perfurações f d» 3 mm, separadas de 200 mm
- limpar uma face da placa com jato de areia ao metal branco; protegê-la do ar
- preparar o adesivo segundo as instruções do fabricante.
- aplicar aditivo em espessura de e= ± 1,5 mm na viga e placa; esperar 3 minutos
- aderir placa contra viga, pressionando com um rolo (ou equivalente) para expulsar o ar e excessos.
- colocar uma peça de madeira, pressionando fortemente.
- instalar pontaletes telescópicos fortemente encunhados e uniformemente distribuídos
- retirar pontaletes e madeira no terceiro dia
- carregar dentro de uma semana

Falha detectada: fissuras verticais em região tracionada

Esquema da solução III:
Reforço com chapas metálicas

Alternativas de fixação das chapas:

- Mediante resina epóxi
- Mediante parafusos

Figura 8.3.1. Reforço de concreto estrutural – chapas metálicas.

Procedimentos construtivos para chapas aderidas com parafusos:

- descarregar a viga
- escorar as lajes e a viga; controlar a horizontalidade.
- retirar cuidadosamente pintura, argamassa e/ou pasta superficial.
- polir a superfície do concreto com jato de areia.
- a placa deve ser coplanar e ter perfurações segundo projeto.
- limpar uma face da placa com areia de qualidade comercial; protegê-la do ar.

- perfurar o concreto e colocar parafusos de expansão, de acordo com o projeto.
- aderir placa contra viga, apertando as porcas com chave de torque.
- colocar peça de madeira com entalhes (rebaixos) para as porcas, pressionando fortemente.
- instalar pontaletes telescópicos fortemente encunhados, uniformemente distribuídos.
- controlar a horizontalidade e reapertar as porcas se for necessário.
- retirar pontaletes e madeira e voltar a carregar

Materiais usados:

- adesivo epóxi, ou
- parafusos de expansão

Ferramentas e equipamentos especiais:

- máquina de jato de areia
- espátulas
- rolo de espuma de poliuretano
- chave de torque
- pontaletes telescópicos

8.4 Reforço de Concreto Estrutural IV

Possibilidade de reforço IV com protensão externa, conforme Fig. 8.4.1.

- arquitetura não permite apoios intermediários
- arquitetura não permite aumento de seção

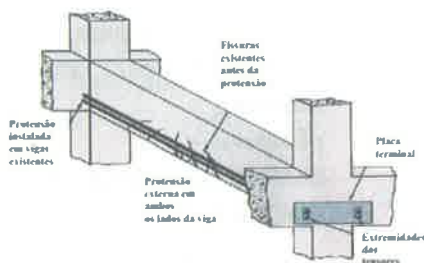
Falha detectada: fissuras verticais em região tracionada

Esquema da solução IV: Reforço com protensão externa

Figura 8.4.1. Reforço de concreto estrutural – protensão externa.

Objetivo: aumentar a capacidade à flexão da viga.

Procedimentos construtivos:

- descarregar a viga
- escorar as lajes e a viga; controlar a horizontalidade.
- as fissuras existentes deverão ser limpadas e injetadas sob pressão, antes de fazer a protensão, conforme procedimento indicado na especificação de reparo.
- perfurar as vigas transversais para passar os tensores (fios).
- preparar a superfície para as placas de ancoragem com jato de areia comercial.
- preparar as placas e os tensores com jato de areia e usar antióxido exterior.
- colar as placas com adesivo epóxi segundo procedimento anterior.
- Após o endurecimento do adesivo, inserir os tensores e fixar uma das extremidades.
- na outra extremidade, instalar dispositivos para ancoragem de tensores.
- tencionar os cabos com macaco hidráulico para as tensões de projeto.
- remover o escoramento e voltar a carregar.

Materiais usados:

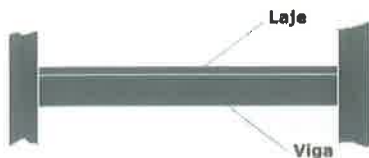
- graute epóxi de viscosidade adequada para injeção.
- placas de ancoragem
- ancoragem para protensão
- tensores (fios) conforme projeto
- adesivo epóxi

Ferramentas e equipamentos especiais:

- equipamento para limpar fissuras
- bomba injetora para fissuras
- equipamento para jato de areia
- furadeira
- espátulas e rolo
- pontaletes telescópicos
- macaco hidráulico para tracionar

8.5 Reforço de Concreto Estrutural V

Possibilidade de reforço V com fibra de carbono, CFC (PRF), conforme Fig. 8.5.1.

- arquitetura não permite apoios intermediários
- arquitetura não permite aumento de seção

Falha detectada: fissuras verticais em região tracionada

Esquema da solução V:
Reforço com fibras de carbono:

- Faixas ou chapas
- Lâminas

Figura 8.5.1. Reforço de concreto estrutural – fibras de carbono.

Objetivos: aumentar a capacidade à flexão, adicionando seção de aço de maior capacidade à tração que a da armadura existente.

Procedimentos construtivos

- descarregar a viga
- escorar as lajes e a viga; fazer o controle de horizontalidade
- retirar a pintura, o revestimento e pasta de cimento superficial.
- polir a superfície com jato de areia
- limpar a superfície da faixa ou lâmina, removendo a graxa ou contaminação.
- preparar o adesivo seguindo as instruções do fabricante.
- aplicar o adesivo sobre ambas as superfícies com uma espátula, e= 1 cm
- esperar alguns minutos
- unir ambas as superfícies, passando um rolo de espuma de poliuretano para remover o ar e o excesso de adesivo.
- pressionar com peça de madeira em toda a extensão da superfície.
- colocar pontaletes fortemente encunhados e uniformemente espaçados
- deixar endurecer durante 3 dias e esperar 7 dias antes de voltar a carregar a estrutura.

Materiais usados:

- faixas ou lâminas de fibras de carbono
- adesivo epóxi

Ferramentas e equipamentos especiais:

- equipamento para jato de areia
- espátula e rolo de espuma de poliuretano
- pontaletes telescópicos

8.6 Reforço com Armadura Embutida

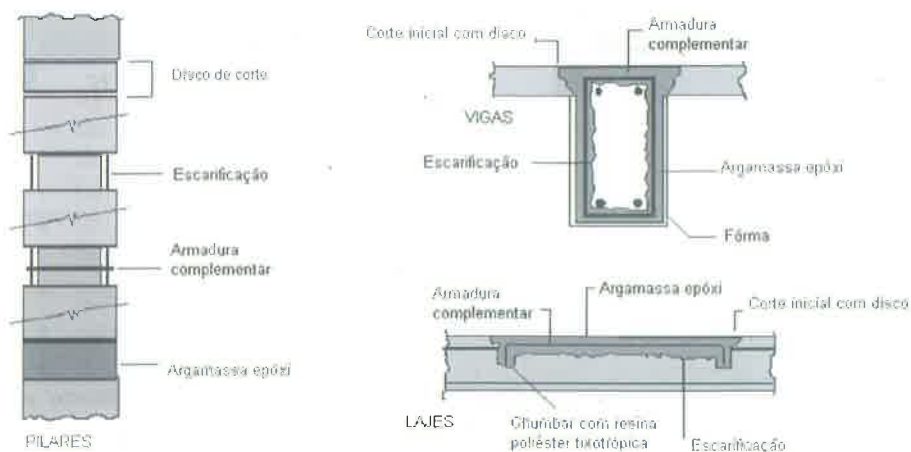



Figura 8.6.1. Reforço com armadura embutida com argamassa base epóxi.

Alcance: reforços estruturais permanentes que mantêm a estética e a geometria da seção origi-nal.

Substrato: cortar com disco de corte até a profundidade de 0,5 cm e escarificar uma cavidade de 3 x 3 cm. Limpar com jato de ar comprimido seco e eventual-mente com acetona, instantes antes de aplicar a ponte de aderência no concreto, com o substrato seco. A armadura deverá ser lixada e limpada com jato de ar comprimido e estar seca, podendo-se para isto passar acetona na superfície, instantes antes de aplicar o adesivo.

Preparo: em um misturador mecânico, adicionar o componente endurecedor ao componente resina, misturar e homogeneizar por 3 minutos. Adicionar o agregado aos poucos, misturar e homogenei-zar por mais 3 minutos.

Aplicação: empregar armadura nervurada e levar em conta o comprimento de traspasse para ancoragem reta ou empregar ganchos retos nas extremidades fixadas com resina (ou cartucho) base poliéster (fluida) para ancoragem. Aplicar pon-te de aderência, adesivo base epóxi (de baixa viscosidade). Respeitando o tempo de manuseio (*pot life*) e colagem (*open time*), preencher a cavidade com argamassa (tixotrópica) base epóxi, compactando-a bem contra o substrato. ***Tempo de manuseio*** *é o prazo disponível para aplicar o produto.* ***Tempo de colagem*** *é o prazo total, após a mistura dos componentes do adesivo em que o material ainda adere; também conhecido como tempo para aplicar a resina.*

Acabamento: usar desempenadeira de aço e colocar em carga somente após 7 dias.

Cuidados: trabalhar com luvas e óculos de segurança, em locais ventilados, e limpar equipamentos e ferramental com solvente apropriado, antes da polimerização do sistema epóxi.

8.7 Chapas Metálicas Aderidas ao Concreto com Adesivo Epóxi

Alcance: reforços estruturais permanentes que mantêm a estética e a geometria original. Não devem ser usados em situações de temperaturas eleva-das (> 55 °C).

Substrato: retirar revestimentos de argamassa e pintura e remover, por escarificação, a capa (nata) superficial do concreto. Procurar obter uma superfície plana e rugosa. Se necessário, preencher as cavidades e regularizar a super-fície com argamassa base epóxi (tixotrópica), aplicada sobre ponte de aderência formada por adesivo base epóxi de baixa viscosidade. Instantes antes da aplicação, limpar a superfície do concreto, que deverá estar seca, com jato de ar comprimido, ou eventualmente com acetona. As chapas metálicas devem ser preparadas com jato de areia ou lixamento elétrico, no máximo 2 horas antes da colagem. Instantes antes da aplicação do adesivo base epóxi (para tratamento da superfície do aço), limpar e secar a superfície das chapas metálicas com jato de ar compri-mido seco, ou eventualmente com acetona.

Preparo: adicionar o componente endurecedor ao com-ponente resina; misturar e homogeneizar por 3 minutos.

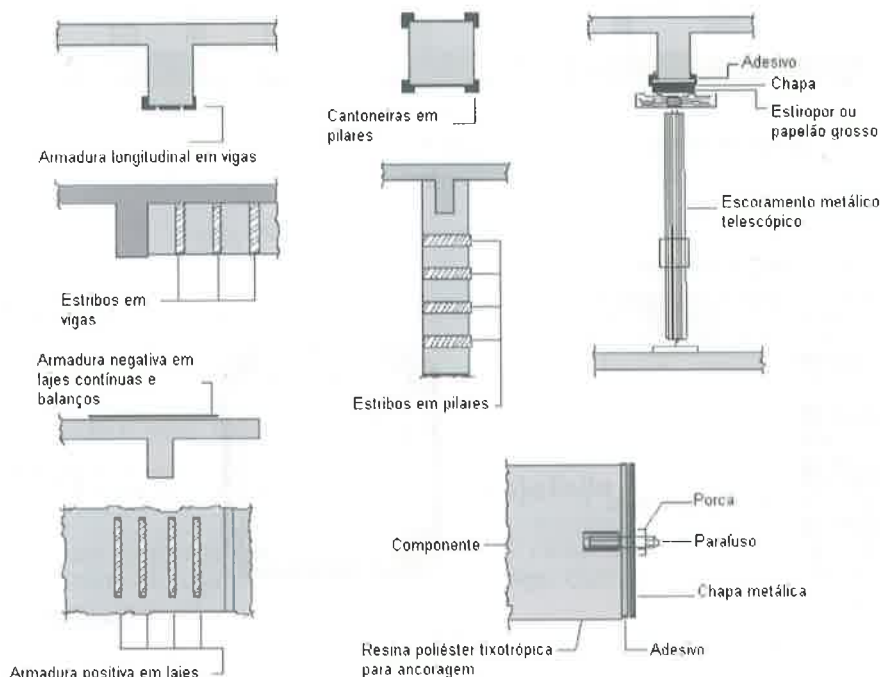



Figura 8.7.1. Reforço com chapas metálicas aderidas com epóxi.

Aplicação: deve estar conforme o projeto. As chapas de aço devem ter furos de 3 mm de diâmetro a cada 15 cm para deixar escapar o ar, e devem ter espessura máxima de 4 mm. Recomenda-se fixar as chapas com o auxílio de parafusos e porcas. Esses parafusos devem ser previamente chumbados no elemento estrutural com resina de ancoragem base poliéster (tixotrópica). Aplicar o ade-sivo base epoxi (de baixa viscosidade) na superfície do concreto numa espessura da ordem de 2 a 3 mm. Aplicar o adesivo de base epóxi (para tratamento da superfície do aço) na super-fície das chapas metálicas a serem colocadas. Pressionar fortemente as chapas metálicas contra a superfície do elemento estrutural, apertando as porcas e com auxílio de caibros e pontaletes (escoras) telescópicos, respeitando o tempo de manuseio e de colagem dos adesivos. Pressionar até obter espessura uniforme do adesivo, inferior a 1,5 mm. ***Tempo de manuseio*** *é o prazo disponível para aplicar o produto.* ***Tempo de colagem*** *é o prazo total, após a mistura dos componentes do adesivo em que o material ainda adere; também conhecido como tempo para aplicar a resina*.

Acabamento: retirar o escoramento após 48 horas. Eliminar os restos de adesivo antes do en-durecimento.

Cura: por em carga após 7 dias.

Cuidados: trabalhar com luvas e óculos de segurança, em locais ventilados, e limpar equipamentos e ferramental com solvente apropriado, antes da polimerização do sistema epóxi.

8.8 Reforços de Emergência

8.8.1 Chapas metálicas soldadas

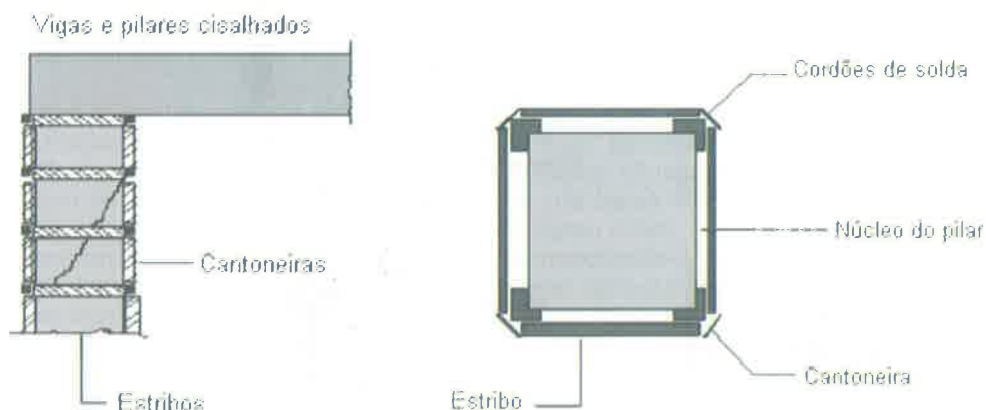



Figura 8.8.1. Reforço de emergência com chapas metálicas soldadas.

Alcance: reforços de emergência e provisórios em caso de ruptura (sobrecargas excessivas e incêndios).

Aplicação: ajustar cantoneiras metálicas nas arestas de pilares e vigas. Aquecer a 100 °C as chapas metálicas que atuarão como estribos e armadura principal, e soldá-las às cantoneiras. Com o resfriamento das chapas à temperatura ambiente, ocorre uma compressão do elemento estrutural, o que garante uma certa aderência e aumento rápido da capacidade de suporte.

8.8.2 Vigas e lajes

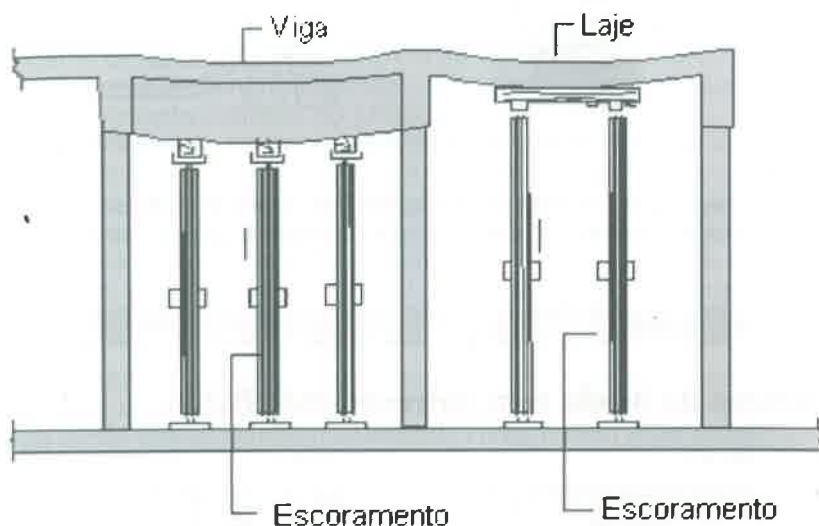



Figura 8.8.2. Reforço de emergência de vigas e lajes.

As vigas e lajes devem ser escoradas e encunhadas, evitan-do-se no entanto não forçá-las muito para não dificultar devolvê-las a sua posição original. A recuperação e reforço definitivos, quando viáveis, deverão seguir as recomendações específicas deste manual. Na maioria das vezes, é preferível, mais rápido e mais barato demolir as lajes e reconstruí-las.

8.8.3 Pilares e paredes: concreto projetado

Em pilares cisalhados, um método rápido é cintar com armadura helicoidal e projetar concreto com aditivo acelerador de pega. Outra boa alternativa é envolver o elemento com chapas metálicas soldadas.

Para intervenção de emergência, a fim de evitar o colapso, em paredes de concreto ou alvenaria pode ser conveniente fixar uma malha ou tela na superfície e projetar concreto com aditivo acelerador de pega. A recuperação e reforço defini-tivo, quando viáveis, devem seguir as recomendações espe-cíficas deste manual.

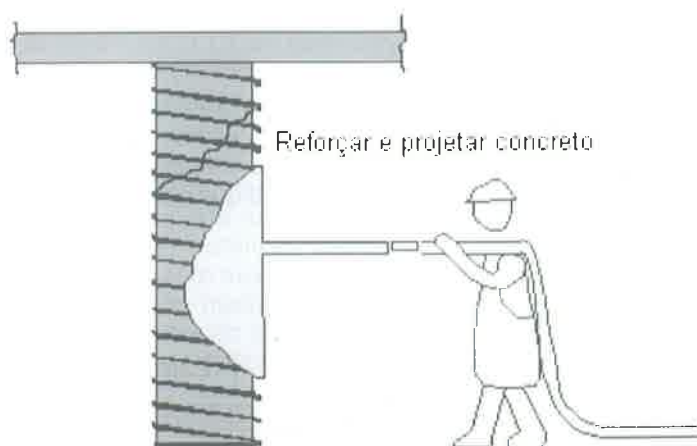



Figura 8.8.3. Reforço de emergência em paredes e pilares com concreto projetado.

Pode ser empregado um concreto pré-formulado e pré-embalado para projeção mecânica, disponível comercialmente, o que facilitará e mini-mizará as operações no canteiro.

8.9 Reforço de Vigas

8.9.1 Reforço de flexão com microconcreto fluido

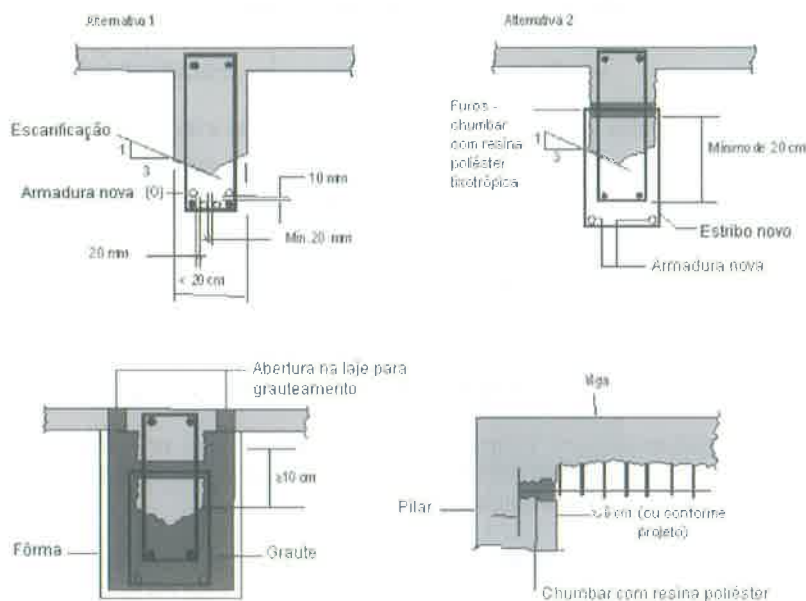



Figura 8.9.1. Reforço de flexão em vigas com microconcreto fluido.

Alcance: reforços cuja maior dimensão na seção não supera os 30 cm.

Substrato: concreto demolido com superfície preparada na inclinação 3:1, escarificado e seco, com aplicação de ponte de aderência base epóxi de baixa viscosidade diretamente sobre o substrato seco.

Preparo: em um misturador mecânico, adicionar água ao microconcreto na relação água/pó de 0,12 a 0,14 dentro de 3 minutos. Misturar e homogeneizar durante mais 3 mi-nutos.

Aplicação: conforme o projeto. Quando necessário, furar a viga e colocar novos estribos pelo menos a 20 cm da face inferior e fixá-los com resina base poliéster (tixotrópi-ca) para ancoragem. Colocar a nova armadura longitu-dinal distanciada da existente de aproximadamente 1 cm na vertical e 2 cm na horizontal. Fixar as pontas da armadura longitudinal nos pilares resina base poliéster (tixotrópica), com o comprimento indicado no projeto, no mínimo 5cm.

Preparar formas estanques e rígidas. Retirar as fôrmas, aplicar adesivo epóxi (de baixa viscosidade), recolocar as fôrmas e verter o microconcreto fluido, respeitando o tempo de manuseio e colagem do adesivo. O microconcreto fluido deve ser lançado suave e continuamente somente por um lado da viga, até que apareça do outro lado, evitando-se a formação de bolhas de ar, até atingir pelo menos 10 cm acima da super-fície de contato com o concreto velho.

Tempo de manuseio *é o prazo disponível para aplicar o produto.* ***Tempo de colagem*** *é o prazo total, após a mistura dos componentes do adesivo em que o material ainda adere; também conhecido como tempo para aplicar a resina.*

Acabamento: após remover as fôrmas e pelo menos 48 horas depois, cortar os excessos, sempre de baixo para cima, para evitar lascamentos. Se nece-ssário, dar acabamento com argamassa polimérica base cimento.

Cura: úmida por 7 dias ou com duas demãos de adesivo base acrílica (membrana de cura) aplicadas com pulverizador, trincha ou rolo, imediatamente após desformar. Nas primeiras 30 horas, evitar a exposição solar direta através de anteparos.

Cuidados: escorar a estrutura descarregando a viga antes da execução do reforço. Retirar os escoramentos somente após 7 dias.

8.9.2 Reforço de flexão com concreto

Alcance: reforços com qualquer dimensão.

Substrato: seco, com aplicação de ponte de aderência formada por adesivo base epóxi (de baixa viscosidade).

Preparo: relação água total/cimento d» 0,50; abati-mento de 10 a 15 cm; aditivo superfluidificante e dimensão máxima característica do agregado graúdo igual a 1/5 da menor dimensão da peça.

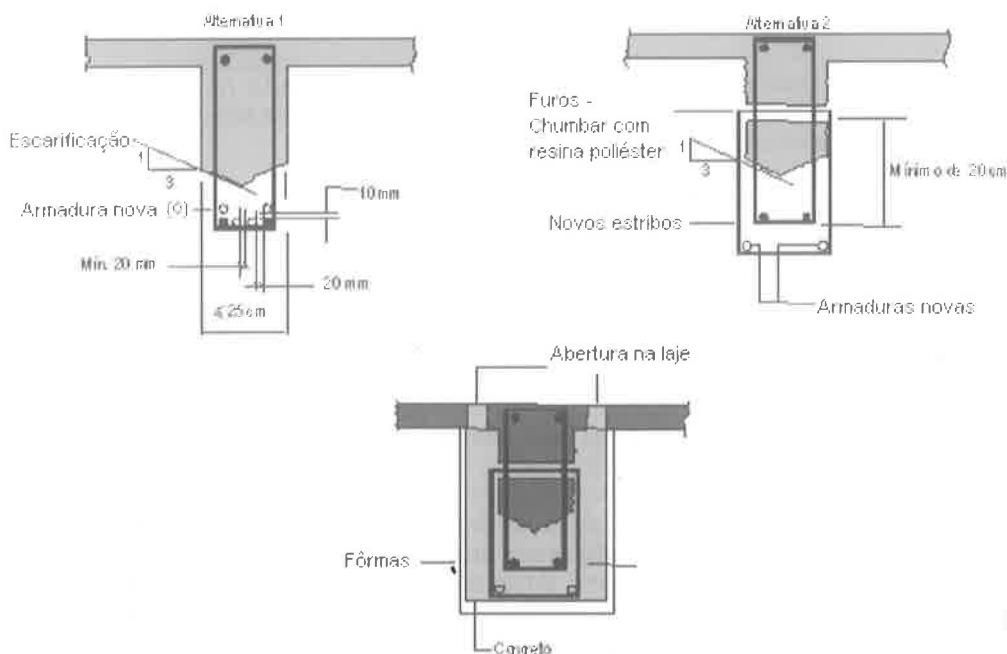



Figura 8.9.2. Reforço de flexão em vigas com concreto.

Aplicação: conforme o projeto. Quando necessário, furar a viga e colocar novos estribos pelo menos a 20 cm da face inferior e fixá-los com resina base poliéster (tixotrópi-ca) para ancoragem. Colocar a nova armadura longitu-dinal distanciada da existente aproximadamente 1 cm na vertical e 2 cm na horizontal. Chumbar as pontas da armadura longitudinal nos pilares com resina base poliéster (tixotrópi-ca) para ancoragem, com o comprimento indicado no projeto, mínimo igual a 5 cm. Preparar fôrmas estanques e rígidas. Retirar as fôrmas, aplicar adesivo epóxi (de baixa viscosidade), recolocar as fôrmas e concretar, respeitando o tempo de manuseio e de colagem do adesivo. O concreto deve ser lançado suave e continuamente somente por um lado da viga, até que apareça do outro lado, evitando-se a formação de bolhas de ar. Adensar com vibradores. ***Tempo de manuseio*** *é o prazo disponível para aplicar o produto.* ***Tempo de colagem*** *é o prazo total, após a mistura dos componentes do adesivo em que o material ainda adere; também conhecido como tempo para aplicar a resina.*

Acabamento: após desformar e pelo menos 48 horas depois, cortar os excessos, sempre de baixo para cima, para evitar lascamentos. Se necessário, dar acabamento com argamassa polimérica base cimento (de baixa retração).

Cura: saturado de água por 14 dias, ou duas demãos de adesivo base acrílica, ou parafina (membrana de cura), aplicadas com pulverizador, trincha ou rolo, imedia-tamente após desformar.

Cuidados: escorar a estrutura descarregando a viga antes da execução dos reforços. Retirar os pontaletes (escoras) somente após 21 dias.

8.9.3 Reforço de flexão com concreto projetado

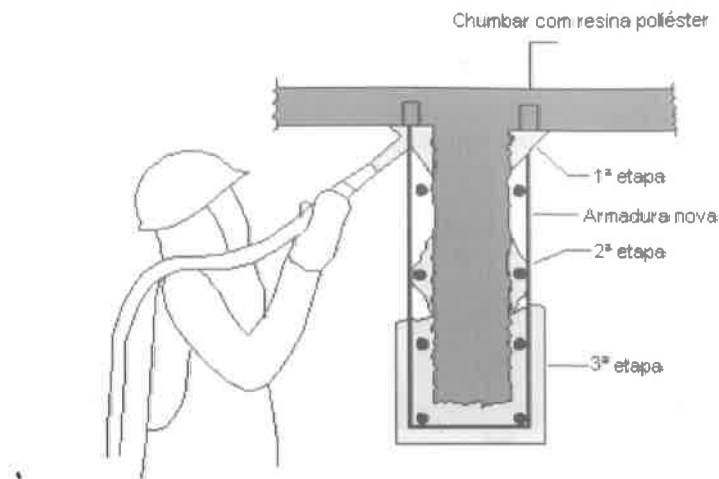



Figura 8.9.3. Reforço de flexão em vigas com concreto projetado.

Alcance: reforços com qualquer dimensão.

Substrato: saturado e com superfície seca sem empoçamentos.

Preparo: agregado graúdo com dimensão máxima característica d» 19 mm; traço em massa de 1 parte de cimento para 2 a 2,5 de areia mais agregados graúdos; relação água total/cimento de 0,35 a 0,50. Pode ser empregado um concreto pré-formulado e pré-embalado para projeção mecânica, disponível comercialmente, o que facilitará e mini-mizará as operações no canteiro.

Aplicação: iniciar a projeção pelos cantos e cavidades, revestindo em seguida as armaduras. Projetar em camadas sucessivas de 5 cm de espessura, até atingir a espessura desejada. Utilizar aditivo acelerador de pega para diminuir o rebote e auxiliar na formação da primeira camada de concreto. O excesso de concreto deverá ser retirado mediante sarrafeamento.

Acabamento: desempenadeira de madeira ou apenas sarrafeado, ou «ao natural», imitando um «chapiscão».

Cura: úmida por 14 dias ou duas demãos de adesivo base acrílica ou parafina (membrana de cura) aplicadas com pulverizador. Nas primeiras 30 horas evitar a radiação solar direta através de anteparos.

8.9.4 Reforço de flexão com chapas metálicas aderidas com epóxi

Alcance: reforços permanentes. Não devem ser usados em situações de temperaturas elevadas (>55 °C)

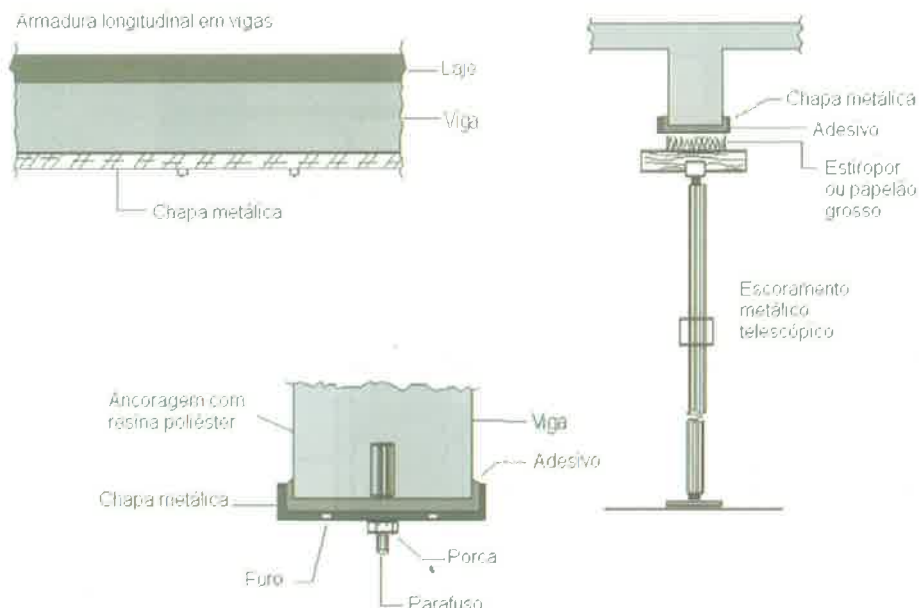



Figura 8.9.4. Reforço de flexão em vigas com chapas metálicas aderidas com epóxi.

Substrato: retirar revestimentos de argamassa e pintura e remover, por escarificação, a nata superficial do concreto. Procurar obter uma superfície plana e ru-gosa. Se necessário, preencher cavidades e regularizar a superfície com argamassa epóxi (tixotrópica), aplicada sobre ponte de aderência com adesivo base epóxi (de baixa viscosidade). Instantes antes da aplicação da ponte de aderência, limpar a super-fície do concreto - que deverá estar seca - com jato de ar comprimido, ou eventualmente com acetona. As chapas metálicas deven ser prepara-das com jato de areia ou lixamento elétrico, até a condição de metal branco, no máximo 2 horas antes da colagem. Instantes antes da aplicação do adesivo epóxi (para tratamento da superficie do aço), limpar e secar a superfície das chapas metálicas com jato de ar comprimido seco, ou eventualmente com acetona.

Preparo: adicionar o componente endurecedor ao com-ponente resina, misturar e homogeneizar durante 3 minutos.

Aplicação: deve estar conforme o projeto. As chapas de aço devem ter furos de 3 mm de diâmetro a cada 15 cm para deixar escapar o ar, e devem ter espessura máxima de 4 mm. Recomenda-se fixar as chapas com o auxílio de parafusos e porcas.

Esses parafusos devem ser previamente fixaods no componente estrutural com resina base poliéster (tixotrópica) para ancoragem. Aplicar a ponte de aderência, adesivo base epóxi (de baixa viscosidade) na superfície do concreto, numa espessura da ordem de 2 a 3 mm.

Aplicar o adesivo de base epóxi (para tratamento da superfície do aço) na superfície das chapas metálicas a serem coladas. Pressionar fortemente as chapas metálicas contra a superfície do componente estrutural, apertando as porcas, com o auxílio de caibros e escoras, respeitando o tempo de manuseio e colagem dos ade-sivos. Pressionar até obter espessura uniforme do adesivo, inferior a 1,5 mm.

Tempo de manuseio *é o prazo disponível para aplicar o produto.* ***Tempo de colagem*** *é o prazo total, após a mistura dos componentes do adesivo em que o material ainda adere; também conhecido como tempo para aplicar a resina.*

Acabamento: retirar o escoramento após 48 horas. Retirar o excesso do adesivo antes do en-durecimento.

Cura: não há; colocar em carga somente após 7 dias.

Cuidados: trabalhar com luvas e óculos de segurança, em locais ventilados e limpar equipamentos e ferramentas com solvente apropriado, antes da polimerização do sistema epóxi.

8.9.5 Reforço de cortante com argamassa epóxi

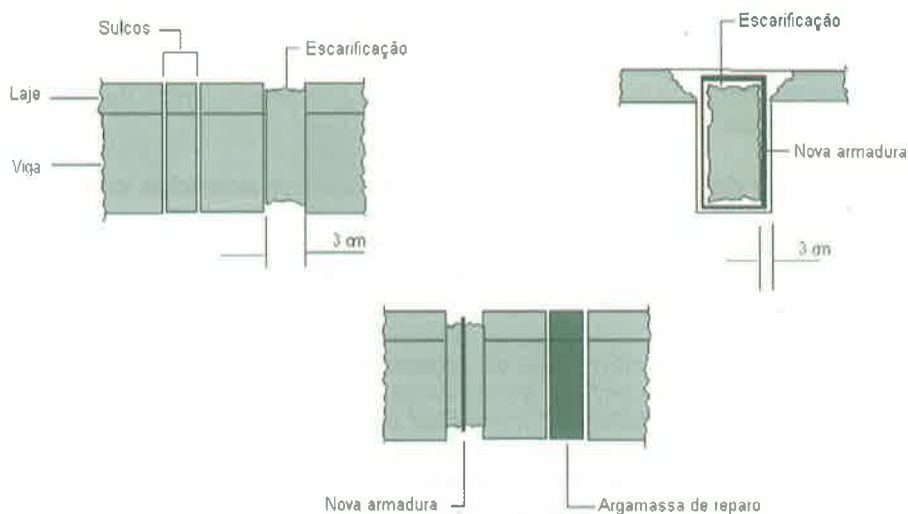



Figura 8.9.5. Reforço de cortante em vigas com argamassa epóxi.

Alcance: manutenção da geometria original.

Substrato: cortar com disco de corte (e» 0,5 cm para superfícies verticais e e» 1,0 cm para superfícies horizontais). Escarificar um berço de 3 x 3 cm.

Limpar a superfície com jato de ar seco comprimido ou eventualmente com acetona, ins-tantes antes de aplicar a ponte de aderência no concreto com a superfície seca.

A armadura deve ser lixada com lixa de ferro e limpada com jato de ar seco ou acetona, instantes antes da aplicação do adesivo.

Preparo: em um misturador mecânico, adicionar o componente endurecedor ao componente resina, misturar e homogeneizar por 3 minutos. Juntar os agregados aos poucos, misturar e homogeneizar por mais 3 minutos.

Aplicação: deve estar conforme o projeto de recuperação. Empregar armadura nervurada e levar em conta os comprimentos de traspasse para ancoragem reta ou empregar ganhos retos nos extremos fixados com resina base poliéster (tixotropica) para ancoragem. Aplicar a ponte de aderência, adesivo base epóxi (de baixa viscosidade), respeitando seu tem-po de manuseio e de colagem. Preencher o berço com argamassa (tixotrópica) base epóxi, bem adensada no berço.

Tempo de manuseio *é o prazo disponível para aplicar o produto.* ***Tempo de colagem*** *é o prazo total, após a mistura dos componentes do adesivo em que o material ainda adere; também conhecido como tempo para aplicar a resina.*

Acabamento: desempenadeira de aço. Colocar em carga somente após 7 dias.

Cura: proteger da radiação solar direta durante as primeiras 5 horas.

Cuidados: trabalhar com luvas e óculos de segurança, em locais ventilados e limpar equipamentos e ferramentas com solente apropriado, antes da plimerização do sistema epóxi.

8.9.6 Reforço de cortante com chapas metálicas aderidas com epóxi

Alcance: reforços estruturais permanentes que mantêm a estética e a geometria original das vigas. Não devem ser usados em situações de temperaturas eleva-das (> 55 °C).

Substrato: retirar revestimentos de argamassa e pintura e remover, por escarificação, a nata superficial do concreto. Procurar obter uma superfície plana e ru-gosa. Se necessário, preencher cavidades e regularizar a superfície com argamassa epóxi (tixotrópica), aplicada sobre ponte de aderência com adesivo base epóxi (de baixa viscosidade). Instantes antes da aplicação da ponte de aderência, limpar a super-fície do concreto - que deverá estar seca - com jato de ar comprimido, ou eventualmente com acetona. As chapas metálicas deven ser prepara-das com jato de areia ou lixamento elétrico, até a condição de metal branco, no máximo 2 horas antes da colagem. Instantes antes da aplicação do adesivo epóxi (para tratamento da superficie do aço), limpar e secar a superfície das chapas metálicas com jato de ar comprimido seco, ou eventualmente com acetona.

Preparo: adicionar o componente endurecedor ao com-ponente resina, misturar e homogeneizar durante 3 minutos.

Aplicação: deve estar conforme o projeto. As chapas de aço devem ter furos de

3 mm de diâmetro a cada 15 cm para deixar escapar o ar, e devem ter espessura máxima de 4 mm. Recomenda-se fixar as chapas com o auxílio de parafusos e porcas.

Esses parafusos devem ser previamente fixaods no componente estrutural com resina base poliéster (tixotrópica) para ancoragem. Aplicar a ponte de aderência, adesivo base epóxi (de baixa viscosidade) na superfície do concreto, numa espessura da ordem de 2 a 3 mm.

Aplicar o adesivo de base epóxi (para tratamento da superfície do aço) na superfície das chapas metálicas a serem coladas. Pressionar fortemente as chapas metálicas contra a superfície do componente estrutural, apertando as porcas, com o auxílio de caibros e escoras, respeitando o tempo de manuseio e colagem dos ade-sivos. Pressionar até obter espessura uniforme do adesivo, inferior a 1,5 mm.

Figura 8.9.6. Reforço de cortante em vigas com chapas metálicas aderidas com epóxi.

Tempo de manuseio *é o prazo disponível para aplicar o produto.* ***Tempo de colagem*** *é o prazo total, após a mistura dos componentes do adesivo em que o material ainda adere; também conhecido como tempo para aplicar a resina.*

Acabamento: retirar o escoramento após 48 horas. Retirar o excesso do adesivo antes do en-durecimento.

Cura: não há; colocar em carga somente após 7 dias.

Cuidados: trabalhar com luvas e óculos de segurança, em locais ventilados e limpar equipamentos e ferramentas com solvente apropriado, antes da polimerização do sistema epóxi.

8.9.7 Reforço de torção com argamassa ou microconcreto fluido

Alcance:

- espessura d» 6 cm - argamassa fluida base cimento
- espessura d» 30 cm - microconcreto fluido

Substrato: concreto demolido com superfície preparada na inclinação 3:1, escarificado e seco, com aplicação de ponte de aderência base epóxi de baixa viscosidade diretamente sobre o substrato seco.

Preparo: em um misturador mecânico, adicionar água ao pó na relação água/pó de 0,12 a 0,14, para o graute base cimento, e de 0,12, para o microconcreto fluido, dentro de 3 minutos. Misturar e homogeneizar durante mais 3 mi-nutos.

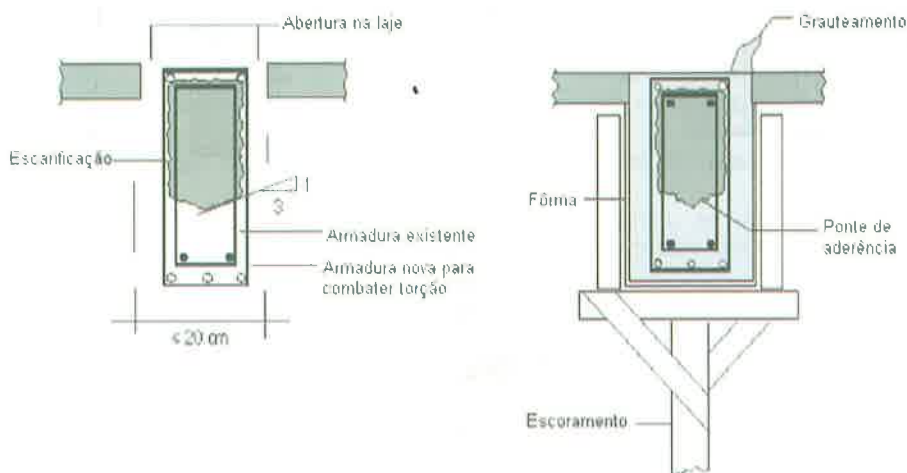



Figura 8.9.7. Reforço de cortante em vigas com argamassa ou microconcreto fluido.

Aplicação: conforme o projeto. Colocar a nova armadura longitu-dinal distanciada da existente de aproximadamente 1 cm na vertical e 2 cm na horizontal. Fixar as pontas da armadura longitudinal nos pilares resina base poliéster (tixotrópica), com o comprimento indicado no projeto, no mínimo 5cm.

Preparar formas estanques e rígidas. Retirar as fôrmas, aplicar adesivo epóxi (de baixa viscosidade), recolocar as fôrmas e verter o microconcreto fluido, ou a argamassa, respeitando o tempo de manuseio e colagem do adesivo. O microconcreto fluido, ou a argamassa, deve ser lançado suave e continuamente somente por um lado da viga, até que apareça do outro lado, evitando-se a formação de bolhas de ar.

Tempo de manuseio *é o prazo disponível para aplicar o produto.* ***Tempo de colagem*** *é o prazo total, após a mistura dos componentes do adesivo em que o material ainda adere; também conhecido como tempo para aplicar a resina.*

Cura: úmida por 7 dias ou com duas demãos de adesivo base acrílica (membrana de cura) aplicadas com pulverizador, trincha ou rolo, imediatamente após desformar. Nas primeiras 30 horas, evitar a exposição solar direta através de anteparos.

Cuidados: escorar a estrutura descarregando a viga antes da execução do reforço. Retirar os escoramentos somente após 7 dias.

8.9.8 Reforço de torção com concreto

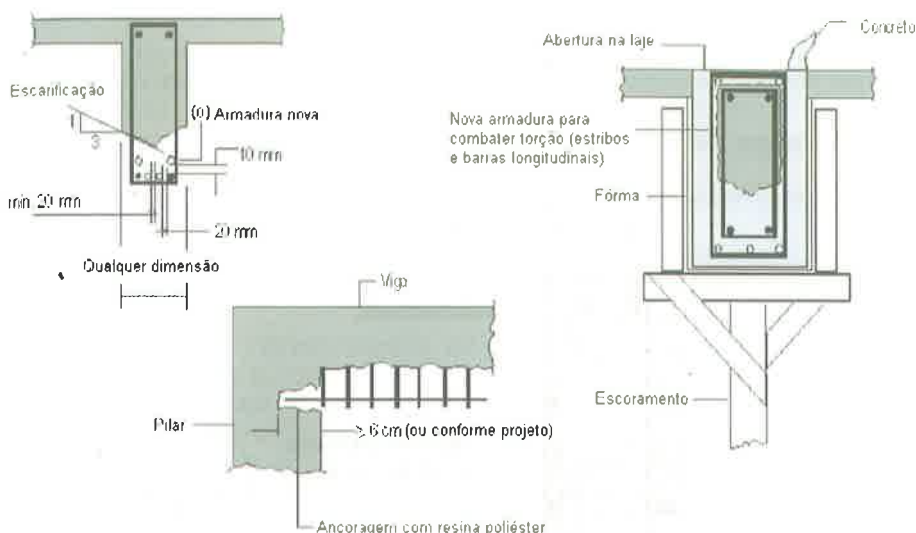



Figura 8.9.8. Reforço de torção em vigas com concreto.

Alcance: reforços com qualquer dimensão.

Substrato: seco, com aplicação de ponte de aderência formada por adesivo base epóxi (de baixa viscosidade).

Preparo: relação água total/cimento d» 0,50; abati-mento de 10 a 15 cm; aditivo superfluidificante e dimensão máxima característica do agregado graúdo igual a 1/5 da menor dimensão da peça.

Aplicação: conforme o projeto. Quando necessário, furar a viga e colocar novos estribos pelo menos a 20 cm da face inferior e fixá-los com resina base poliéster (tixotrópi-ca) para ancoragem. Colocar a nova armadura longitu-dinal distanciada da existente aproximadamente 1 cm na vertical e 2 cm na horizontal. Chumbar as pontas da armadura longitudinal nos pilares com resina base poliéster (tixotrópi-ca) para ancoragem, com o comprimento indicado no projeto, mínimo igual a 5 cm. Preparar fôrmas estanques e rígidas. Retirar as fôrmas, aplicar adesivo epóxi (de baixa viscosidade), recolocar as fôrmas e concretar, respeitando o tempo de manuseio e de colagem do adesivo. O concreto deve ser lançado suave e continuamente somente por um lado da viga, até que apareça do outro

lado, evitando-se a formação de bolhas de ar. Adensar com vibradores. ***Tempo de manuseio*** *é o prazo disponível para aplicar o produto.* ***Tempo de colagem*** *é o prazo total, após a mistura dos componentes do adesivo em que o material ainda adere; também conhecido como tempo para aplicar a resina.*

Acabamento: desempenadeira de madeira.

Cura: saturado de água por 14 dias, ou duas demãos de adesivo base acrílica, ou parafina (membrana de cura), aplicadas com pulverizador, trincha ou rolo, imedia-tamente após desformar.

Cuidados: escorar a estrutura descarregando a viga antes da execução dos reforços. Retirar os pontaletes (escoras) somente após 21 dias.

8.9.9 Reforço de torção com concreto projetado

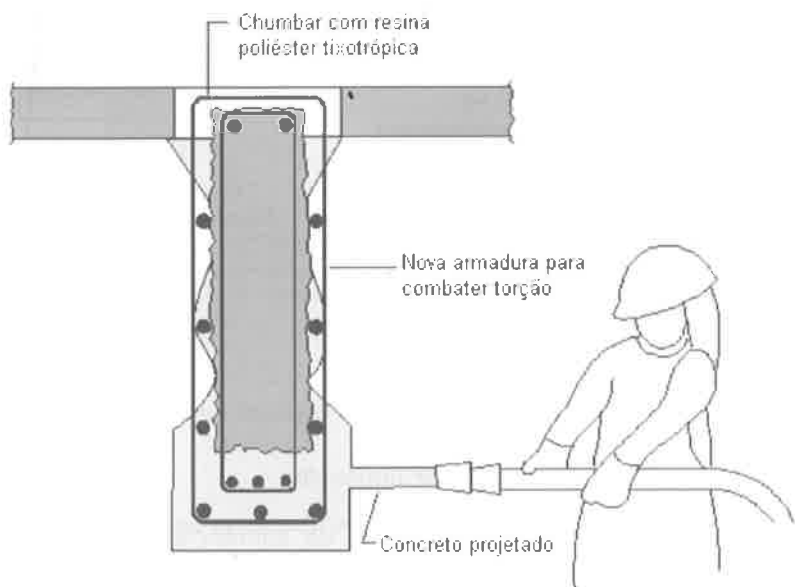



Figura 8.9.9. Reforço de torção em vigas com concreto projetado.

Alcance: reforços com qualquer dimensão.

Substrato: saturado e com superfície seca sem empoçamentos.

Preparo: agregado graúdo com dimensão máxima característica ≤19 mm; traço em massa de 1 parte de cimento para 2 a 2,5 de areia mais agregados graúdos; relação água total/cimento de 0,35 a 0,50. Pode ser empregado um concreto pré-formulado e pré-embalado para projeção mecânica, disponível comercialmente, o que facilitará e mini-mizará as operações no canteiro.

Aplicação: deve estar de acordo com o projeto. Colocar a nova armadura

longitudinal distanciada da existente aproximadamente 1 cm na vertical e 2 cm na horizontal. Chumbar as pontas da armadura com resina poliéster (tixotrópica) para ancoragem, com o comprimento indicado no projeto, mínimo igual a 6 cm. Iniciar a projeção pelos cantos e cavidades, revestindo em seguida as armaduras. Projetar em camadas sucessivas de 5 cm de espessura, até atingir a espessura desejada. Utilizar aditivo acelerador de pega para diminuir o rebote e auxiliar na formação da primeira camada de concreto. O excesso de concreto deverá ser retirado mediante sarrafeamento.

Acabamento: desempenadeira de madeira ou apenas sarrafeado, ou «ao natural», imitando um «chapiscão».

Cura: úmida por 14 dias ou duas demãos de adesivo base acrílica ou parafina (membrana de cura) aplicadas com pulverizador. Nas primeiras 30 horas evitar a radiação solar direta através de anteparos.

8.9.10 Reforço de torção com chapas metálicas aderidas com epóxi

Alcance: reforços permanentes. Não devem ser usados em situações de temperaturas elevadas (> 55 °C)

Substrato: retirar revestimentos de argamassa e pintura e remover, por escarificação, a nata superficial do concreto. Procurar obter uma superfície plana e ru-gosa. Se necessário, preencher cavidades e regularizar a superfície com argamassa epóxi (tixotrópica), aplicada sobre ponte de aderência com adesivo base epóxi (de baixa viscosidade). Instantes antes da aplicação da ponte de aderência, limpar a super-fície do concreto - que deverá estar seca - com jato de ar comprimido, ou eventualmente com acetona. As chapas metálicas devem ser prepara-das com jato de areia ou lixamento elétrico, até a condição de metal branco, no máximo 2 horas antes da colagem. Instantes antes da aplicação do adesivo epóxi (para tratamento da superficie do aço), limpar e secar a superfície das chapas metálicas com jato de ar comprimido seco, ou eventualmente com acetona.

Preparo: adicionar o componente endurecedor ao com-ponente resina, misturar e homogeneizar durante 3 minutos.

Aplicação: deve estar conforme o projeto. As chapas de aço devem ter furos de 3 mm de diâmetro a cada 15 cm para deixar escapar o ar, e devem ter espessura máxima de 4 mm. Recomenda-se fixar as chapas com o auxílio de parafusos e porcas.

Esses parafusos devem ser previamente fixaods no componente estrutural com resina base poliéster (tixotrópica) para ancoragem. Aplicar a ponte de aderência, adesivo base epóxi (de baixa viscosidade) na superfície do concreto, numa espessura da ordem de 2 a 3 mm.

Aplicar o adesivo de base epóxi (para tratamento da superfície do aço) na superfície das chapas metálicas a serem coladas. Pressionar fortemente as chapas metálicas contra a superfície do componente estrutural, apertando as porcas, com o auxílio

de caibros e escoras, respeitando o tempo de manuseio e colagem dos ade-sivos. Pressionar até obter espessura uniforme do adesivo, inferior a 1,5 mm.

Tempo de manuseio *é o prazo disponível para aplicar o produto.* ***Tempo de colagem*** *é o prazo total, após a mistura dos componentes do adesivo em que o material ainda adere; também conhecido como tempo para aplicar a resina.*

Figura 8.9.10. Reforço de torção em vigas com chapas aderidas com epóxi.

Acabamento: retirar o escoramento após 48 horas. Retirar o excesso do adesivo antes do en-durecimento.

Cura: não há; colocar em carga somente após 7 dias.

Cuidados: trabalhar com luvas e óculos de segurança, em locais ventilados e limpar equipamentos e ferramentas com solvente apropriado, antes da polimerização do sistema epóxi.

8.10 Reforço de Pilares

8.10.1 Reforço com argamassa ou microconcreto fluido

Alcance:

- espessura ≤ 6 cm - argamassa fluida base cimento
- espessura ≤ 30 cm - microconcreto fluido

Substrato: desbastar as arestas e remover todo o concreto danificado do núcleo do pilar original. Esca-rificar ou jatear a super-fície do concreto velho para melhorar a aderência, tanto do pilar quanto das lajes, vigas e blocos de fundação. O substrato deve estar seco, com aplicação de ponte de aderência base epóxi (de baixa viscosidade).

Preparo: em um misturador mecânico, adicionar água ao pó na relação água/pó de 0,12 a 0,14, para a argamassa fluida base cimento, e de 0,11 a 0,14, para o microconcreto fluido. Misturar e homogeneizar por 3 minutos.

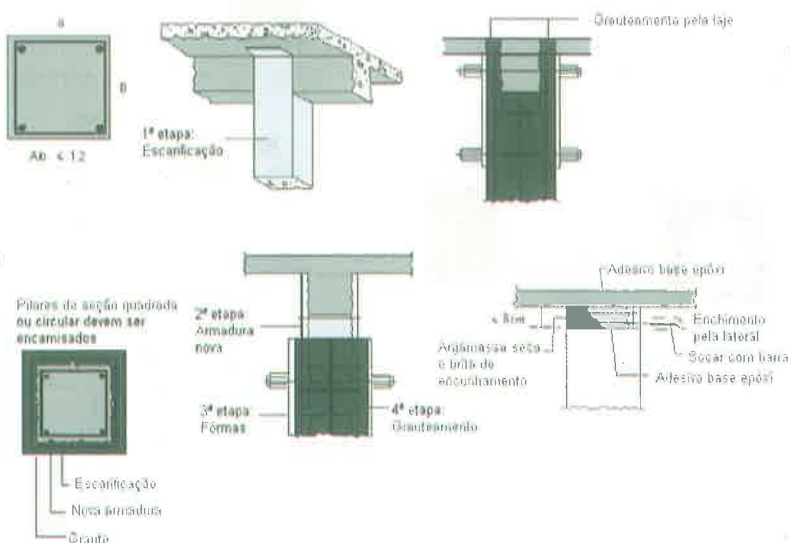



Figura 8.10.1. Reforço de pilares com microconcreto fluido.

Aplicação: deve estar conforme o projeto. Furar as lajes ou blocos para ancoragem das barras longitudinais em profundidade ≤6 cm. Limpar os furos a seco e fixar as barras longitudinais com resina poliéster (tixotrópica) para ancoragem. Colocar pastilhas na armadura longitudinal e estribos, tanto para afastá-los 1,5 cm do núcleo, quanto para garantir um cobrimento mínimo de 1,5 cm. Ajustar as fôrmas em tramos de altura máxima de 1,10 m. Retirá-las, aplicar desmoldante, e aplicar a ponte de aderência, ade-sivo epóxi (de baixa viscosidade), no substrato. Recolocar as fôrmas e lançar a argamassa ou microconcreto fluido base cimento. Desformar após 48 horas e repetir a operação no tramo superior. No último tramo de concretagem, o material deverá ser lançado a partir de aberturas efetuadas na laje.

Caso o último não seja possível, encunhar com argamassa seca base cimento, a uma altura não superior a 8 cm, conforme descrito no item 6.6.3 deste Manual.

Cura: úmida por 7 dias ou com duas mãos de adesivo base acrílica (membrana de cura) aplicadas com pulverizador, brocha ou rolo, imediatamente após desformar.

Cuidados: escorar a estrutura descarregando o pilar. Retirar as escoras (pontaletes) somente após 7 dias.

8.10.2 Reforço com argamassa fluida base epóxi

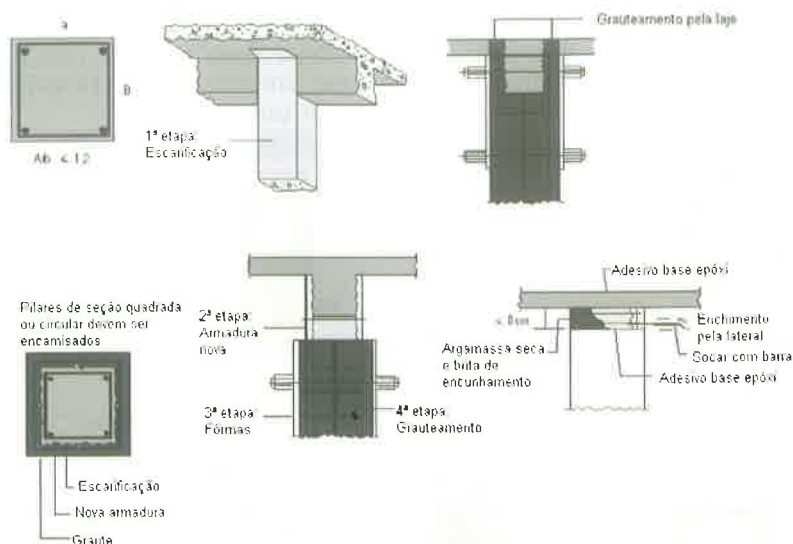



Figura 8.10.2. Reforço de pilares com argamassa fluida base epóxi.

Alcance: espessura na seção transversal de 1 a 4 cm, podendo chegar a 7cm para argamassas especiais.

Substrato: desbastar as arestas e remover todo o concreto danificado do núcleo do pilar original. Esca-rificar ou jatear a super-fície do concreto velho para melhorar a aderência, tanto do pilar quanto das lajes, vigas e blocos de fundação. O substrato deve estar seco, com aplicação de ponte de aderência base epóxi (de baixa viscosidade).

Preparo: em um misturador mecânico, adicionar o componente endurecedor ao componente resina, misturar e homogeneizar por 3 minutos. Juntar os agregados aos poucos, misturar e homogeneizar por mais 3 minutos

Aplicação: deve estar conforme o projeto. Furar as lajes ou blocos para ancoragem das barras longitudinais em profundidade e» 6 cm. Limpar os furos a seco e fixar as barras longitudinais com resina poliéster (tixotrópica) para ancoragem. Colocar pastilhas na armadura longitudial e estribos, tanto para afastá-los 1,0 cm do núcleo, quanto para garantir um cobrimento mínimo de 1,0 cm. Ajustar as fôrmas em tramos de altura máxima igual a 1,10 m. Empregar desmoldantes. Lançar a argamassa fluida base epóxi, adensando bem para remover bolhas de ar. Desformar após 3 horas e repetir a operação no tramo superior. No último tramo, o material deverá ser lançado a partir de aberturas efetuadas na laje.

Cura: colocar em carga somente após 2 dias.

Cuidados: sempre que possível escorar a estrutura descarregando o pilar. Retirar as escoras (pontaletes) após 2 dias.

8.10.3 Reforço com concreto

Alcance: qualquer dimensão e» 6,0 cm

Substrato: seco, com aplicação de ponte de aderência com adesivo base epóxi (de baixa viscosidade).

Preparo: relação água total/cimento d» 0,50; abati-mento de 10 a 15 cm; aditivo superplastificante e dimensão máxima característica do agregado graúdo igual a 1/4 da menor dimensão da peça.

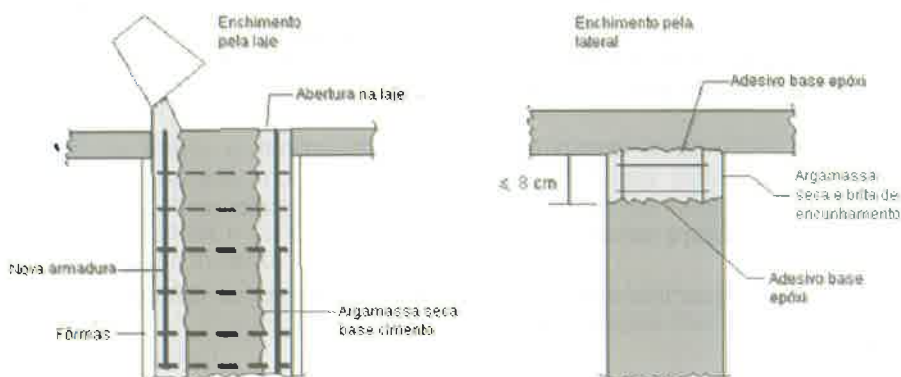



Figura 8.10.3. Reforço de pilares com concreto.

Aplicação: deve estar conforme o projeto. Furar as lajes ou blocos para ancoragem das barras longitudinais em profundidade ≤6 cm. Limpar os furos a seco e fixar as barras longitudinais com resina poliéster (tixotrópica) para ancoragem. Colocar pastilhas na armadura longitudinal e estribos, tanto para afastá-los 2,0 cm do núcleo, quanto para garantir um cobrimento mínimo de 2,0 cm. Ajustar as fôrmas em tramos de altura máxima de 1,10 m. Retirá-las, aplicar desmoldante, e aplicar a ponte de aderência, ade-sivo epóxi (de baixa viscosidade), no substrato. Recolocar as fôrmas e lançar o concreto, adensando-o bem. Desformar após 48 horas e repetir a operação no tramo superior. O último tramo de concretagem não deverá ter altura superior a 30 cm, e o concreto deverá ser lançado a partir de aberturas efetuadas na laje. Caso o último não seja possível, encunhar com argamassa seca base cimento, a uma altura não superior a 8 cm, conforme descrito no item 6.6.3 deste Manual.

Cura: úmida (saturado de água) por 14 dias ou com duas mãos de adesivo base acrílica (membrana de cura) aplicadas com pulverizador, brocha ou rolo, imediatamente após desformar. Nas primeiras 36 horas, evitar a radiação solar direta com anteparos.

Cuidados: sempre que possível, escorar a estrutura descarregando o pilar. Retirar as escoras (pontaletes) após 14 dias.

8.10.4 Reforço com concreto projetado

Alcance: qualquer dimensão d» 5,0 cm

Substrato: saturado e com superfície seca, sem empoça-mentos.

Preparo: agregado graúdo com dimensão máxima característica 19 mm; traço em massa de 1 parte de cimento para 2 a 2,5 partes de areia mais agregados graúdos; relação água total/cimento de 0,35 a 0,50. Pode ser empregado um concreto pré-formulado e pré-embalado para projeção mecânica, disponível comercialmente, o que facilitará e mini-mizará as operações no canteiro.

Aplicação: deve estar conforme o projeto. Furar as lajes ou blocos para ancoragem das barras longitudinais em profundidade ≤6 cm. Limpar os furos a seco e fixar as barras longitudinais com resina poliéster (tixotrópica) para ancoragem. Colocar pastilhas na armadura longitudinal e estribos, tanto para afastá-los 2,0 cm do núcleo, quanto para garantir um cobrimento mínimo de 2,0 cm.

Iniciar a projeção pelos cantos e cavidades, revestindo a seguir as armaduras. Projetar em camadas seqüenciais com espessura 5 cm, até atingir a espessura desejada. Não utilizar aditivo acelerador de pega. O excesso de concreto deverá ser retirado mediante sarrafeamento.

Acabamento: desempenadeira de madeira, ou apenas sarrafeado, ou ainda ao natural, imitando um «chapiscão».

Cura: úmida por 14 dias ou com duas demãos de adesivo base acrílica (membrana de cura) aplicadas com pulverizador. Nas primeiras 36 horas, evitar a radiação solar direta com anteparos.

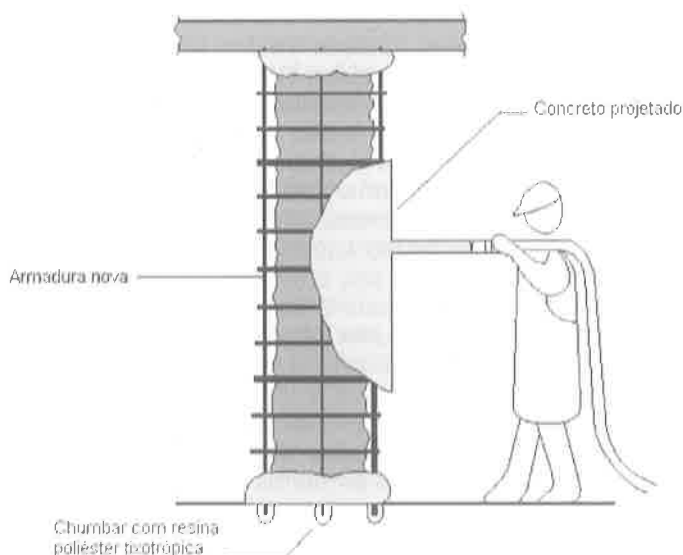



Figura 8.10.4. Reforço de pilares com concreto projetado.

Cuidados: escorar a estrutura e descarregar o pilar. Retirar o escoramento somente após 14 dias.

8.10.5 Reforço com chapas metálicas aderidas com epóxi

Alcance: reforços permanentes. Não devem ser usados em situações de temperaturas elevadas (> 55 °C).

Substrato: retirar revestimentos de argamassa e pintura e remover, por escarificação, a nata superficial do concreto. Procurar obter uma superfície plana e ru-gosa. Se necessário, preencher cavidades e regularizar a superfície com argamassa epóxi (tixotrópica), aplicada sobre ponte de aderência com adesivo base epóxi (de baixa viscosidade). Instantes antes da aplicação da ponte de aderência, limpar a super-fície do concreto - que deverá estar seca - com jato de ar comprimido, ou eventualmente com acetona. As chapas metálicas devem ser prepara-das com jato de areia ou lixamento elétrico, até a condição de metal branco, no máximo 2 horas antes da colagem. Instantes antes da aplicação do adesivo epóxi (para tratamento da superficie do aço), limpar e secar a superfície das chapas metálicas com jato de ar comprimido seco, ou eventualmente com acetona.

Preparo: adicionar o componente endurecedor ao com-ponente resina, misturar e homogeneizar durante 3 minutos.

Figura 8.10.5. Reforço de pilares com chapas metálicas aderidas com epóxi.

Aplicação: deve estar conforme o projeto. As chapas de aço devem ter furos de 3 mm de diâmetro a cada 15 cm para deixar escapar o ar, e devem ter espessura máxima de 4 mm. Recomenda-se fixar as chapas com o auxílio de parafusos e porcas.

Esses parafusos devem ser previamente fixaods no componente estrutural com resina base poliéster (tixotrópica) para ancoragem. Aplicar a ponte de aderência, adesivo base epóxi (de baixa viscosidade) na superfície do concreto, numa espessura da ordem de 2 a 3 mm.

Aplicar o adesivo de base epóxi (para tratamento da superfície do aço) na superfície das chapas metálicas a serem coladas. Pressionar fortemente as chapas metálicas contra a superfície do componente estrutural, apertando as porcas, com o auxílio de caibros e escoras, respeitando o tempo de manuseio e colagem dos ade-sivos. Pressionar até obter espessura uniforme do adesivo, inferior a 1,5 mm.

Tempo de manuseio *é o prazo disponível para aplicar o produto.* ***Tempo de colagem*** *é o prazo total, após a mistura dos componentes do adesivo em que o material ainda adere; também conhecido como tempo para aplicar a resina.*

Acabamento: retirar o escoramento após 48 horas. Retirar o excesso do adesivo antes do en-durecimento.

Cura: colocar em carga somente após 7 dias.

Cuidados: trabalhar com luvas e óculos de segurança, em locais ventilados e limpar equipamentos e ferramentas com solvente apropriado, antes da polimerização do sistema epóxi.

8.11 Reforço de Lajes

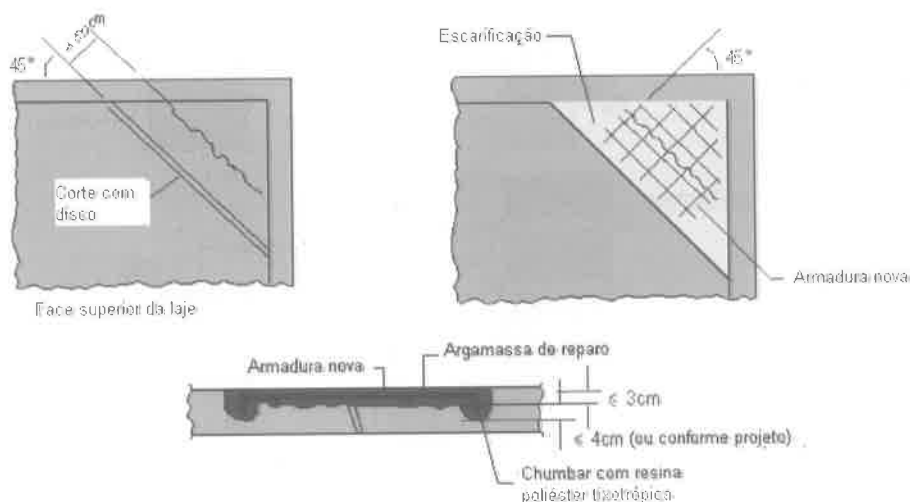



Figura 8.11.1. Reforço de momentos volventes em lajes com microconcreto.

Alcance:

- espessura d» 10 cm – microconcreto.
- espessuras maiores que 5 cm - concreto.

Substrato: cortar com disco de corte na profundidade mínima de 1,0 cm. Fazer com que a linha de corte fique distante pelo menos 50 cm da última fissura ou atendendo os requesitos do projeto. Eliminar o concreto da parte superior na espessura de 3 cm. O substrato deve estar saturado e seco, sem empoçamentos.

Preparo: colocar o graute (microconcreto) em um misturador mecânico e adicionar água ao pó na proporção água/pó de 0,12 a 0,14. Misturar e homogeneizar por 3 minutos.

Aplicação: deve estar conforme o projeto. Colocar a nova armadura de reforço a 45° conforme o projeto, fixando os extremos das barras com resina base poliéster (fluida) para ancoragem. Para fixá-lo nos furos, usar ganchos de 90° com pelo menos 4 cm de profundidade. Com a superfície do concreto saturada, porém sem empoçamentos, lançar o microconcreto de endurecimento rápido (e alta resistência inicial).

Pressionar fortemente para obter bom adensamento e preenchimento. Quando a profundidade da fissura superar a espessura do concreto removido, é conveniente, antes de fixar a armadura, injetar graute base epóxi na fissura conforme descrito no item 6.6.7 deste Manual.

Acabamento: com desempenadeira de madeira ou metálica. Colocar em carga aos 14 dias.

Cura: duas mãos de adesivo base acrílica (membrana de cura), aplicadas com pulverizador imediatamente após a execução do reforço.

8.11.2 Reforço de momento torsor com concreto

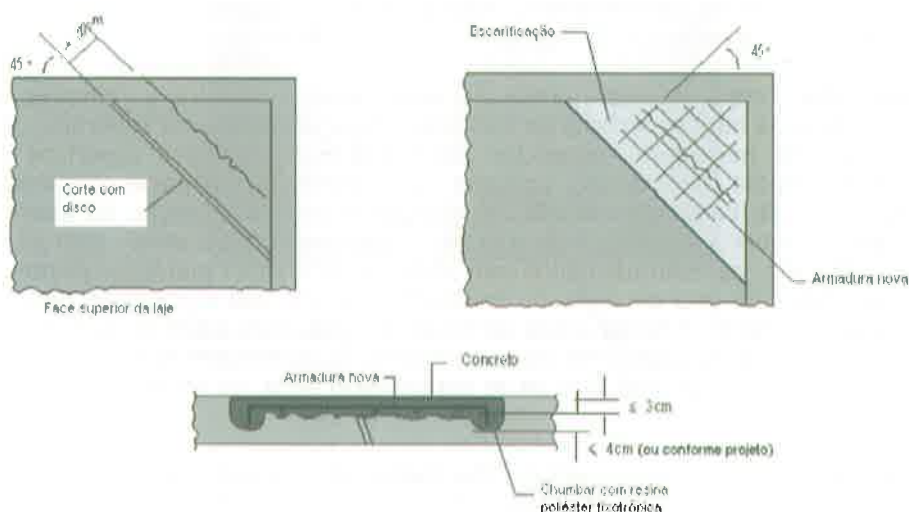



Figura 8.11.2. Reforço de momentos volventes em lajes com concreto.

Alcance: qualquer dimensão d» 10 cm.

Substrato: cortar o concreto com disco de corte na profundidade mínima de 1 cm. Observar linha de corte afastada de, pelo menos, 50 cm da última fissura ou atendendo ao projeto. Remover o concreto da parte superior numa espessura de 3 cm.

Preparo: relação água total/cimento d» 0,50; abati-mento de 8 a 12 cm; aditivo plastificante e dimensão máxima característica do agregado d» 1/4 da espessura da laje.

Aplicação: de acordo com o projeto. Colocar a nova armadura a 45° conforme o projeto, fixando os extremos das barras com resina poliéster (fluida) para ancoragem. Para fixá-los nos furos, usar ganchos a 90° com pelo menos 4 cm de profundidade. Limpar a superfície com jato de ar comprimido seco ou acetona e aplicar ponte de aderência com adesi-vo base epóxi (de baixa viscosidade), sobre sustrato seco. Pressionar fortemente o concreto para obter bom adensamento e preenchimento. Quando a profundidade da fissura superar a espessura do concreto removido, é conveniente, antes de fixar a armadura, injetar graute base epóxi, conforme descrito no item 6.6.7 deste Manual.

Cura: saturar com água durante 14 dias ou aplicar duas demãos de adesivo base acrílica ou parafina (membrana de cura) com pulverizador, brocha ou rolo, após o início de pega. Nas primeiras 36 horas evitar a radiação solar direta com anteparos.

8.11.3 Reforço de momento torsor com chapas metálicas aderidas com epóxi

Alcance: reforços permanentes. Não devem ser usados em situações de temperaturas elevadas (> 55 °C).

Substrato: retirar revestimentos de argamassa e pintura e remover, por escarificação, a nata superficial do concreto. Procurar obter uma superfície plana e ru-gosa. Se necessário, preencher cavidades e regularizar a superfície com argamassa epóxi (tixotrópica), aplicada sobre ponte de aderência com adesivo base epóxi (de baixa viscosidade). Instantes antes da aplicação da ponte de aderência, limpar a super-fície do concreto - que deverá estar seca - com jato de ar comprimido, ou eventualmente com acetona. As chapas metálicas devem ser prepara-das com jato de areia ou lixamento elétrico, até a condição de metal branco, no máximo 2 horas antes da colagem. Instantes antes da aplicação do adesivo epóxi (para tratamento da superficie do aço), limpar e secar a superfície das chapas metálicas com jato de ar comprimido seco, ou eventualmente com acetona.

Preparo: adicionar o componente endurecedor ao com-ponente resina, misturar e homogeneizar durante 3 minutos.

Aplicação: deve estar conforme o projeto. As chapas de aço devem ter furos de 3 mm de diâmetro a cada 15 cm para deixar escapar o ar, e devem ter espessura

máxima de 4 mm. Recomenda-se fixar as chapas com o auxílio de parafusos e porcas.

Esses parafusos devem ser previamente fixaods no componente estrutural com resina base poliéster (tixotrópica) para ancoragem. Aplicar a ponte de aderência, adesivo base epóxi (de baixa viscosidade) na superfície do concreto, numa espessura da ordem de 2 a 3 mm.

Aplicar o adesivo de base epóxi (para tratamento da superfície do aço) na superfície das chapas metálicas a serem coladas. Pressionar fortemente as chapas metálicas contra a superfície do componente estrutural, apertando as porcas, com o auxílio de caibros e escoras, respeitando o tempo de manuseio e colagem dos ade-sivos. Pressionar até obter espessura uniforme do adesivo, inferior a 1,5 mm.

Acabamento: retirar o escoramento após 48 horas. Retirar o excesso do adesivo antes do en-durecimento.

Cura: colocar em carga somente após 7 dias.

Cuidados: trabalhar com luvas e óculos de segurança, em locais ventilados e limpar equipamentos e ferramentas com solvente apropriado, antes da polimerização do sistema epóxi.

Figura 8.11.3. Reforço de momentos volventes em lajes com chapas metálicas aderidas com epóxi.

8.11.4 Reforço de flexão com argamassa base epóxi

Alcance: preenchimento de sulcos.

Substrato: cortar com disco de corte (1 cm para super-fícies horizontais) e escarificar um berço de 3 x 3 cm. Limpar a superficie com jato de ar compri-mido ou acetona, instantes antes de aplicar o adesivo (ponte de aderência) no concreto.

A armadura deve ser lixada com lixa de ferro e limpada com jato de ar seco comprimido ou acetona, instantes antes da aplicação do adesivo sobre a superfície seca.

Preparo: em um misturador mecânico, adicionar o componente endurecedor ao componente resina, misturar e homogeneizar por 3 minutos. Adicionar os agregados aos poucos e homogeneizar por mais 3 minutos.

Aplicação: de acordo com o projeto. Empregar armadura nervurada e levar em conta os comprimentos de traspasse para ancoragem reta, ou empregar ganchos retos nos extremos, fixando-os com resina poliéster. Aplicar o adesivo epóxi (ponte de aderência), respeitando o tempo de manuseio e de colagem do adesivo. Preencher o berço com argamassa epóxi, comprimindo-a bem contra o substrato.

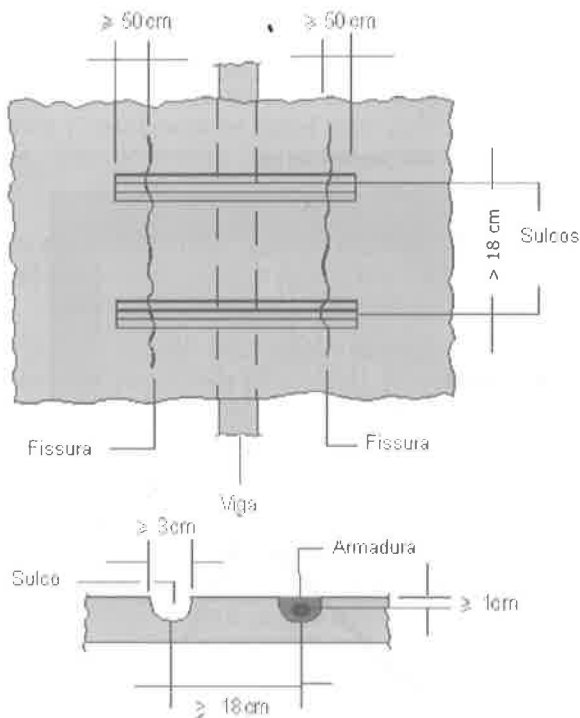



Figura 8.11.4. Reforço de flexão em lajes com argamassa epóxi e armadura positiva.

Acabamento: desempenadeira metálica. Colocar em carga somente após 7 dias.

Cuidados: trabalhar com luvas e óculos de segurança, em locais ventilados e limpar equipamentos e ferramentas com solvente apropriado, antes da poimerização do sistema epóxi.

8.11.5 Reforço de flexão com argamassa polimérica base cimento

Alcance: preenchimento de sulcos em reparos de menor res-ponsabilidade.

Substrato: cortar com disco de corte (1 cm para super-fícies horizontais) e escarificar um berço de 3 x 3 cm. A armadura deve ser lixada e limpada com jato de ar compri-mido ou acetona.

Preparo:

- argamassa bicomponente - em um misturador mecânico, adicionar o componente pó ao componente líquido misturar e homogeneizar por 3 minutos.
- argamassa monocomponente - em um misturador mecânico, colocar água no recipiente e adicionar o pó aos poucos, misturar e homogeneizar por 3 minutos.

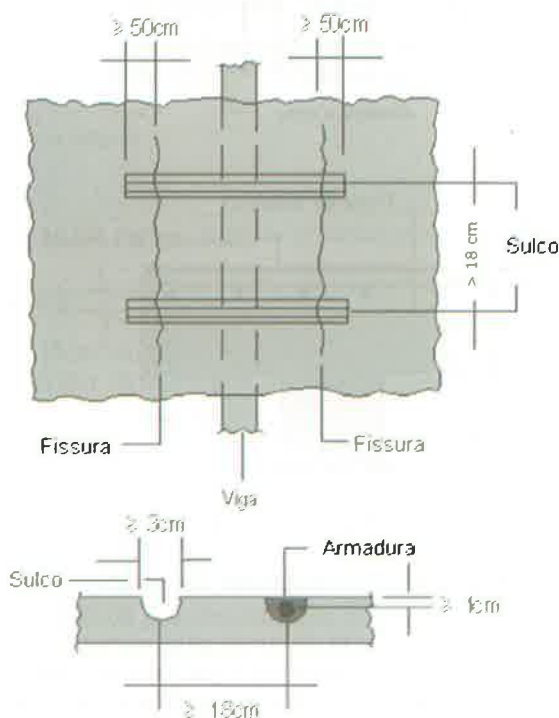



Figura 8.11.5. Reforço de flexão em lajes com argamassa base cimento modificado com polímeros.

Aplicação: de acordo com o projeto. Empregar armadura nervurada e levar em conta os comprimentos de traspasse para ancoragem reta, ou empregar ganchos retos nos extremos, fixando-os com resina poliéster. Com a superfí-cie do concreto saturada, porém não encharcada, aplicar ponte de aderência constituí-da por pasta de cimento:adesivo base acríli-ca:água na proporção 3:1:1, em volume, e

aplicar a argamassa polimérica, pressionando fortemente contra o substrato para obter bom adensamento e preenchimento da cavidade.

Acabamento: desempenadeira de madeira, espuma (feltro) ou metálica. Colocar em carga somente após 21 dias.

Cura: úmida por 7 dias ou com duas demãos de adesivo acrílico (membrana de cura) aplicadas com pulverizador, brocha ou rolo, após o início da pega. Nas primeiras 36 horas evitar a radiação solar direta com anteparos.

8.11.6 Reforço de flexão com concreto

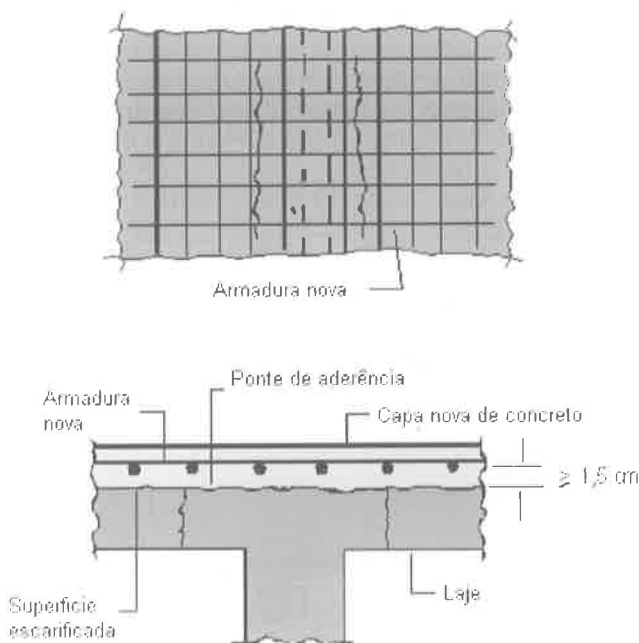



Figura 8.11.6. Reforço de flexão em lajes com concreto.

Alcance: execução de nova capa resistente d» 5 cm.

Substrato: escarificar ou usar jato de areia para remover a nata de cimento e a sujeira superficial do concreto. Limpar com jato de ar comprimido ou acetona e deixar a superfície seca antes de aplicar ponte de aderência de adesivo epóxi (de baixa viscosidade).

Preparo: relação água/cimento d» 0,50, abatimento de 8 a 12 cm, aditivo plastificante e dimensão máxima característica do agregado graúdo igual a 1/4 da menor espessura.

Aplicação: posicionar a armadura conforme o projeto e lançar o concreto respeitando o tempo de manuseio e colagem do adesivo epóxi. Adensar corretamente.

Acabamento: desempenadeira de madeira, espuma ou metálica. Colocar em carga somente após 21 dias.

Cura: úmida durante 14 dias ou com duas mãos de adesivo base acrílica ou parafina (membrana de cura) aplicadas com pulverizador, brocha ou rolo, após o início da pega. Nas primeiras 36 horas, evitar a radiação solar direta com anteparos.

8.11.7 Reforço de flexão com concreto projetado

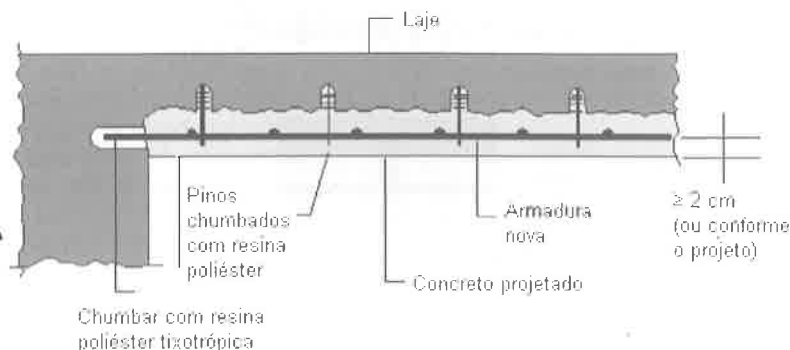



Figura 8.11.7. Reforço de flexão em lajes com concreto projetado.

Alcance: espessuras d» 10 cm.

Substrato: escarificar ou aplicar jato de areia, removendo a nata de cimento superficial do concreto. O substrato deve estar saturado e com a superfície seca, sem empoçamentos.

Preparo: agregado graúdo com dimensão máxima carac-terística de 1/4 da menor espessura, traço em massa seca 1 parte de cimento para 2 a 2,5 de areia e agregado graúdo, relação água/cimento de 0,35 a 0,50.

Aplicação: deve estar de acordo com o projeto. Fixar a nova armadura conforme projeto, através de pinos pré-chumbados no concreto ou fixando-a à armadura existente.

A nova armadura deve ficar afastada pelo menos 0,5 cm da superfície do concreto antigo, o que pode ser conseguido com o uso de espaçadores. Projetar o concreto com equipamento de ar comprimido numa espessura mínima total de 3 cm. Segundo projeto, essa espessura pode ser elevada para atender os requisitos, quando o diagnóstico do problema for ambiente agressivo às armaduras e, em se tratando de lajes apoiadas ou contínuas, devem ser previstas ancoragens nas extremidades, junto às vigas, empregando-se resina poliéster tixotrópica. Usar aditivo acelerador de pega. O excesso de concreto deve ser retirado mediante sarrafeamento.

Acabamento: desempenadeira de madeira, ou apenas sarrafeado, ou ainda ao natural, como um «chapiscão».

Cura: úmida durante 14 dias ou com duas demãos de adesivo base acrílica (membrana de cura) aplicadas com pulverizador, brocha ou rolo, após o início da pega. Nas primeiras 36 horas, evitar a radiação solar direta com anteparos.

8.11.8 Reforço de flexão com chapas metálicas aderidas com epóxi

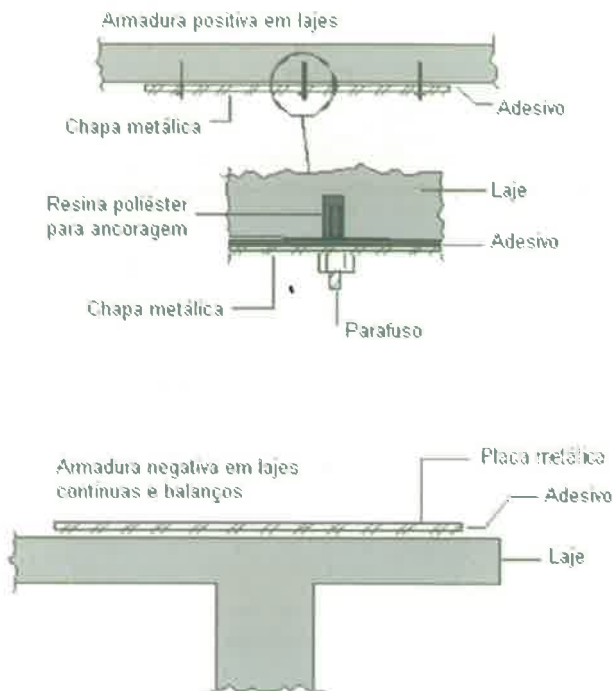



Figura 8.11.8. Reforço de flexão em lajes com chapas metálicas aderidas com epóxi.

Alcance: reforços estruturais permanentes que mantêm a estética e a geometria. Não devem ser usadas em situações de temperaturas elevadas (> 55 °C).

Substrato: retirar revestimentos de argamassa e pintura e remover, por escarificação, a nata superficial do concreto. Procurar obter uma superfície plana e ru-gosa. Se necessário, preencher cavidades e regularizar a superfície com argamassa epóxi (tixotrópica), aplicada sobre ponte de aderência com adesivo base epóxi (de baixa viscosidade). Instantes antes da aplicação da ponte de aderência, limpar a super-fície do concreto - que deverá estar seca - com jato de ar comprimido, ou eventualmente com acetona. As chapas metálicas devem ser prepara-das com jato de areia ou lixamento elétrico, até a condição de metal branco, no máximo 2 horas antes da colagem. Instantes antes da aplicação do adesivo epóxi (para tratamento da superficie do aço), limpar e secar a superfície das chapas metálicas com jato de ar comprimido seco, ou eventualmente com acetona.

Preparo: adicionar o componente endurecedor ao com-ponente resina, misturar e homogeneizar durante 3 minutos.

Aplicação: deve estar conforme o projeto. As chapas de aço devem ter furos de 3 mm de diâmetro a cada 15 cm para deixar escapar o ar, e devem ter espessura máxima de 4 mm. Recomenda-se fixar as chapas com o auxílio de parafusos e porcas.

Esses parafusos devem ser previamente fixaods no componente estrutural com resina base poliéster (tixotrópica) para ancoragem. Aplicar a ponte de aderência, adesivo base epóxi (de baixa viscosidade) na superfície do concreto, numa espessura da ordem de 2 a 3 mm.

Aplicar o adesivo de base epóxi (para tratamento da superfície do aço) na superfície das chapas metálicas a serem coladas. Pressionar fortemente as chapas metálicas contra a superfície do componente estrutural, apertando as porcas, com o auxílio de caibros e escoras, respeitando o tempo de manuseio e colagem dos ade-sivos. Pressionar até obter espessura uniforme do adesivo, inferior a 1,5 mm.

Acabàmento: retirar o escoramento após 48 horas. Retirar o excesso do adesivo antes do en-durecimento.

Cura: colocar em carga somente após 7 dias.

Cuidados: trabalhar com luvas e óculos de segurança, em locais ventilados e limpar equipamentos e ferramentas com solvente apropriado, antes da polimerização do sistema epóxi.

8.11.9 Reforço de punção com graute ou microconcreto

Alcance:

- ≤ 6 cm - argamassa fluida base cimento
- ≤ 30 cm - microconcreto fluido.

Substrato: demolir o concreto da laje na região afetada. Delimitar com disco de corte na espessura ≤ 1 cm para a parte superior e e» 0,5 cm na parte inferior da laje. Escarificar a cabeça do pilar e arredondar arestas. Limpar e secar com jato de ar seco ou acetona e aplicar ponte de aderência com adesivo base epóxi (de baixa viscosidade).

Preparo: em um misturador mecânico, adicionar água ao pó na relação água/pó 0,140 para a argamassa fluida base cimento, e 0,126 para o microconcreto fluido. Misturar e homoge-neizar por 3 minutos.

Aplicação: montar armadura conforme projeto. Ajustar as fôrmas estanques que devem estar preparadas com desmoldante. Retirar as fôrmas e aplicar ponte de aderência com adesivo epóxi no concreto velho. Recolocar as fôrmas e proceder ao grauteamento respeitando o prazo de manuseio e de colagem do adesivo.

Efetuar o grauteamento sempre pelo mesmo lado, para evitar a formação de bolhas de ar.

Cura: úmida por 7 dias ou com duas demãos de adesivo base acrílica (membrana de cura) aplicadas com pulverizador, brocha ou rolo imediatamente após desformar. Nas primeiras 36 horas, evitar a radiação solar direta com anteparos.

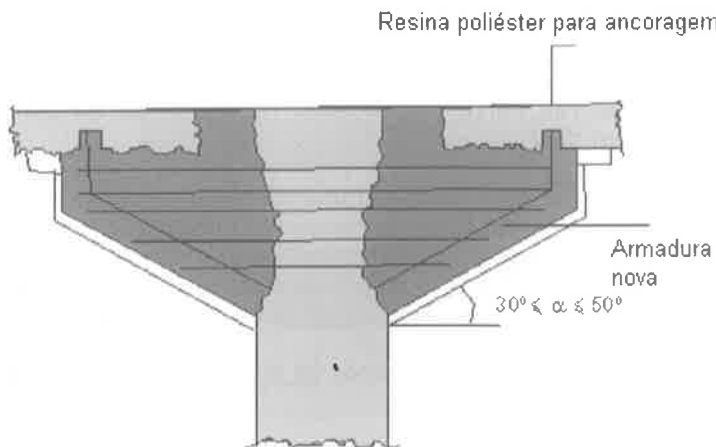



Figura 8.11.9. Reforço de punção em lajes com graute ou microconcreto.

8.11.10 Reforço de punção com chapas metálicas aderidas com epóxi

Alcance: espessura da seção d» 7 cm. Pilar e laje com concreto de boa qualidade e pouco fissurado (temperaturas < 55 °C).

Substrato: escarificar o topo do pilar em toda a altura do reforço, retirando a nata super-ficial do concreto. Limpar e secar a superfície imediatamente antes de ajustar o reforço metálico e fazer as vedações; limpar a superfície metálica com jato de areia, lixadeira elétrica ou por lixamento manual, e aplicar acetona instantes antes da montagem.

Preparo: em um misturador mecânico, adicionar o componente endurecedor ao componente resina, misturar e homogeneizar por 3 minutos. Em seguida, adicionar os agregados aos poucos, misturar bem e homogeneizar por mais 3 minutos.

Aplicação: posicionar o reforço metálico e injetar pela parte inferior o graute base epoxi (para reparos profundos), até este emergir pelo respiro superior.

Acabamento: retirar o excesso de material antes do endurecimento.

Cura: evitar radiação solar direta e umidade nas primeiras 5 horas.

Cuidados: trabalhar com luvas e óculos de segurança, em locais ventilados, e limpar equipamentos e ferramentas com solvente apropriado, antes da polimerização do sistema epóxi.

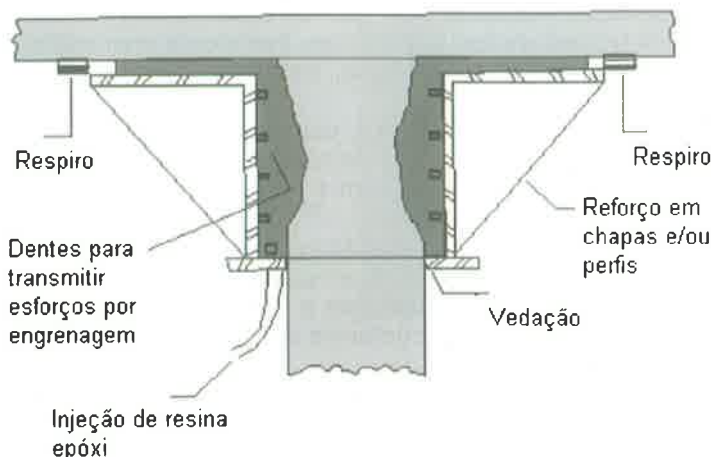



Figura 8.11.10. Reforço de punção com chapas metálicas aderidas com epóxi.

8.11.11 Reforço de punção com perfis metálicos protendidos

Alcance: espessura da seção d» 7 cm. Pilar e laje com concreto de boa qualidade e pouco fissurado (temperaturas < 55 °C).

Substrato: escarificar a cabeça do pilar retirando a nata superficial do concreto. Jatear ou lixar a superfície inferior da laje, retirando a nata superficial do concreto.

Após o término dos trabalhos e instantes ants da injeção do graute base epóxi, aplicar jato de ar seco ou acetona para obter superfície limpa e aderente.

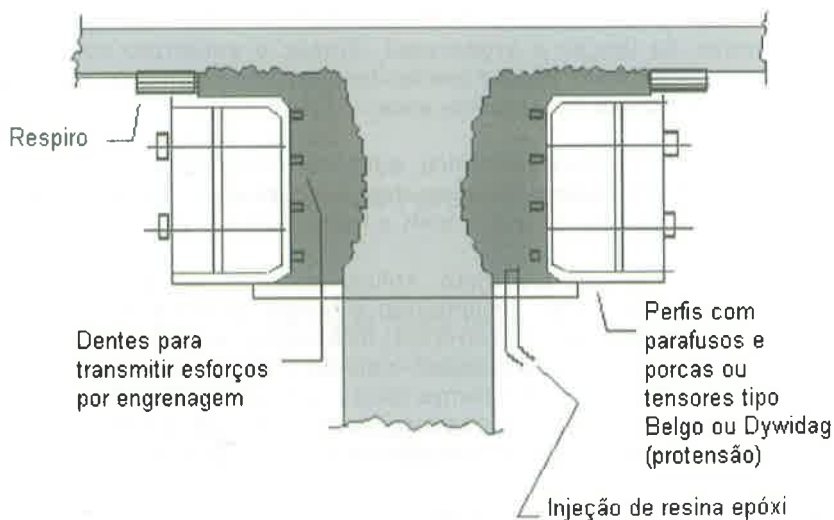



Figura 8.11.11. Reforço de punção de lajes com perfis metálicos protendidos.

Limpar as superfícies metálicas com jato de areia ou com lixadeira elétrica, ou deixar ressaltos (rugosi-dades) superficiais, lixando-os manualmente e limpando com jato de ar comprimido ou ace-tona, instantes antes da montagem.

Preparo: em um misturador mecânico, adicionar o componente endurecedor ao componente resina, misturar e homogeneizar por 3 minutos. Em seguida, adicionar os agregados aos poucos, misturar bem e homogeneizar por mais 3 minutos.

Aplicação: posicionar os perfis metálicos e verter ou injetar o graute (ou argamassa fluida) base epóxi (para reparos profundos). Aguardar pelo menos 24 horas. Protender os perfis metálicos com o auxílio de parafusos com porcas ou tensores tipo Belgo ou Dywidag, conforme a Fig. 8.11.11.

Acabamento: retirar o excesso de material antes do endurecimento.

Cura: evitar radiação solar direta e umidade nas primeiras 5 horas.

Cuidados: trabalhar com luvas e óculos de segurança, em locais ventilados, e limpar equipamentos e ferramentas com solvente apropriado, antes da polimerização do sistema epóxi.

8.12 Reforço de Mísulas e Dentes Gerber

8.12.1 Reforço de mísulas com argamassa epóxi

Alcance: preenchimento de cavidades com espessuras d» 2,5 cm.

Substrato: elevar a viga que se apóia no console, retirar o apoio e demolir o concreto danificado. Preferencialmente, executar o contorno com disco de corte em espessura e» 0,5 cm.

Instantes antes de lançar a argamassa, limpar o substrato com jato de ar comprimido ou acetona e aplicar ponte de aderência com ade-sivo epóxi (de baixa viscosidade) sobre a superfície seca.

Preparo: em um misturador mecânico, adicionar o componente endurecedor ao componente resina, misturar e homogeneizar por 3 minutos. Em seguida, adicionar os agregados aos poucos, misturar bem e homogeneizar por mais 3 minutos.

Aplicação: de acordo com o projeto. Aplicar ponte de aderência com ade-sivo epóxi (de baixa viscosidade), respeitando o tempo de manuseio e colagem do adesivo, e aplicar a argamassa (tixotrópica) base epóxi, pressionando-a fortemente contra o substrato em camadas seqüen-ciais de 1,5 cm, até atingir a espessura desejada (≤2,5 cm). Usar em temperatura ambiente, de 10 a 30 °C. Para espessuras maiores, desfasar as aplicações de mais de 5 horas e manter as superfícies que receberão novas camadas ranhuradas (rugosas).

Acabamento: desempenadeira de aço.

Cura: evitar radiação solar direta e umidade nas primeiras 5 horas.

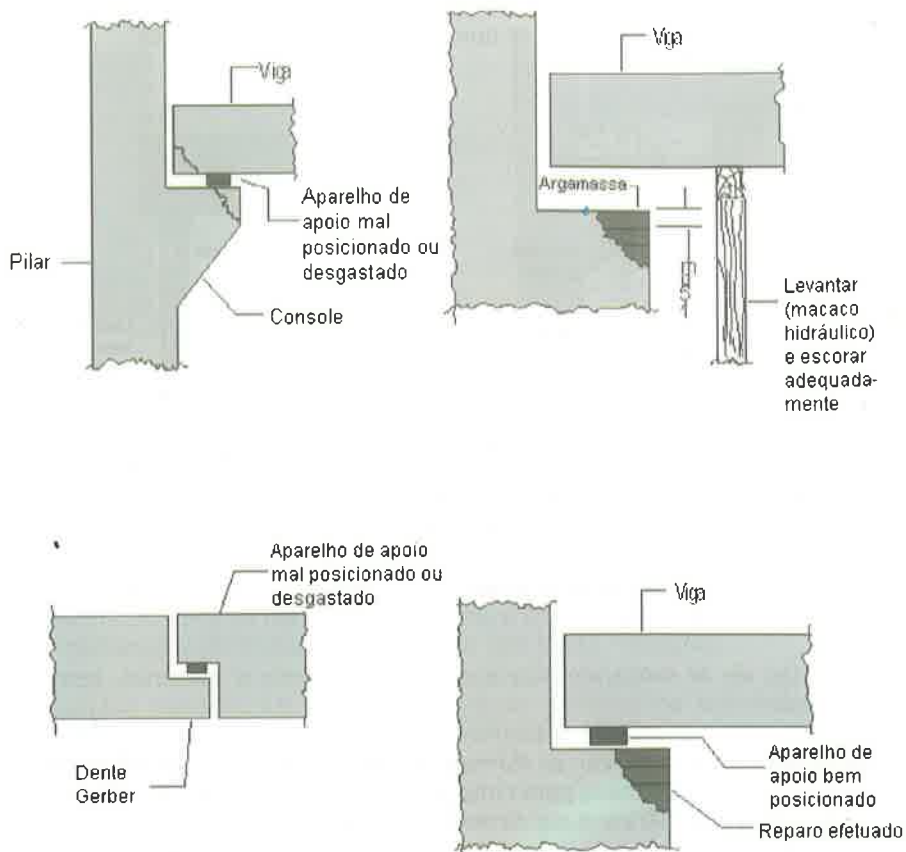



Figura 8.12.1. Reforço de mísulas e dentes Gerber com argamassa epóxi.

Cuidados: trabalhar com luvas e óculos de segurança, em locais ventilados, e limpar equipamentos e ferramentas com solvente apropriado, antes da polimerização do sistema epóxi.

8.12.2 Reforço de mísulas com graute ou microconcreto fluido

Alcance:

- dimensões ≤ 6 cm - argamassa fluida base cimento
- dimensões ≤ 30 cm - microncreto fluido, confinado pela fôrma.

Substrato: seco, com aplicação de ponte de aderência e adesivo base epóxi (de baixa viscosidade).

Preparo: elevar a viga que se apóia no console, retirar o apoio e demolir o concreto danificado. Preferencialmente, executar o contorno com disco de corte em espessura ≥ 0,5 cm. Em um misturador mecânico, adicionar água ao pó na

relação água/pó de 0,140, para a argamassa fluida base cimento, e 0,126, para o microconcreto fluido. Misturar e homo-geneizar por 3 minutos.

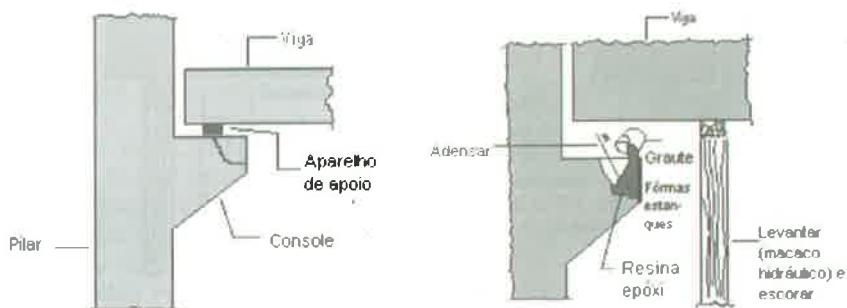



Figura 8.12.2. Reforço de mísulas e dentes Gerber com graute ou microconcreto fluido.

Aplicação: deve estar conforme o projeto. Preparar fôrmas estanques e rígidas, com cachimbo ou funil alimentador. Retirar as fôrmas, aplicar a ponte de aderência com adesivo base epóxi (de baixa viscosidade), e recolocar as fôrmas. Lançar a argamassa ou o microconcreto fluido, observando o tempo de manuseio e de colagem do adesivo.

Evitar bolhas de ar lançando suave e continuamente o material, sempre pelo mesmo lado.

Acabamento: após remover as fôrmas, decorridas pelo menos 48 horas, cortar os excessos, sempre de baixo para cima, para evitar lascamentos. Dar acabamento com argamassa polimérica base cimento (de baixa retração).

Cura: úmida por 7 dias ou com duas demãos de adesivo base acrílica (membrana de cura) aplicadas com pulverizador, brocha ou rolo imediatamente após desformar. Nas primeiras 36 horas, evitar a radiação solar direta com anteparos.

8.12.3 Reforço de mísulas e dentes Gerber com concreto

Alcance: qualquer dimensão ≤ 5 cm.

Substrato: seco, com aplicação de ponte de aderência e adesivo base epóxi (de baixa viscosidade).

Preparo: relação água/cimento ≤ 0,50, abatimento de 10 a 15 cm, aditivo superplastificante e dimensão máxima característica do agregado graúdo igual a 1/4 da menor dimensão da peça. Elevar a viga que se apóia no console, retirar o apoio e demolir o concreto danificado. Preferencialmente, executar o contorno com disco de corte em espessura ≥ 0,5 cm.

Aplicação: deve estar conforme o projeto. Preparar fôrmas estanques e rígidas, com cachimbo ou funil alimentador. Retirar as fôrmas, aplicar a ponte de aderência com adesivo base epóxi (de baixa viscosidade), e recolocar as fôrmas. Lançar o

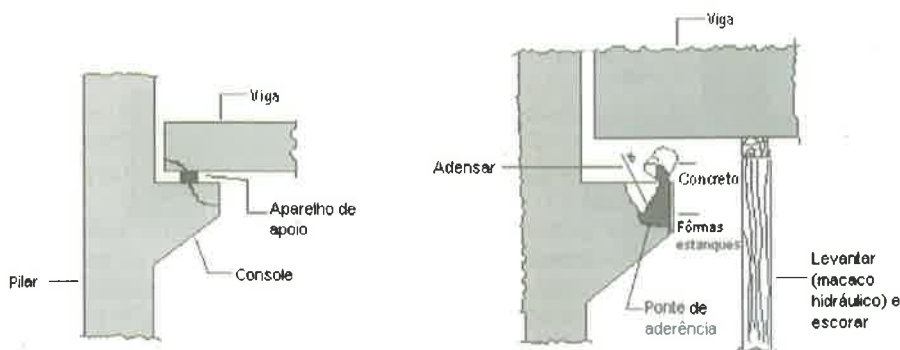



Figura 8.12.3. Reforço de mísulas e dentes Gerber com concreto.

concreto, observando o tempo de manuseio e de colagem do adesivo.

Evitar bolhas de ar lançando suave e continuamente o material, sempre pelo mesmo lado. Adensar com soquetes e vibradores adequados.

Acabamento: após remover as fôrmas, decorridas pelo menos 48 horas, cortar os excessos, sempre de baixo para cima, para evitar lascamentos. Dar acabamento com argamassa polimérica base cimento (de baixa retração).

Cura: úmida durante 14 dias ou com duas demãos de adesivo base acrílica (membrana de cura) aplicadas com pulverizador, brocha ou rolo, imediatamente após desformar.

Cuidados: a estrutura só deve entrar em carga após 21 dias.

8.13 Reforço de Fundações

8.13.1 Reforço de blocos com graute ou microconcreto fluido

Alcance:

- reforços cuja espessura na seção transversal ≤ 6 cm - argamassa fluida base cimento
- reforços cuja espessura na seção transversal ≤ 30 cm - microconcreto fluido.

Substrato: quebrar arestas e escarificar a superfície para aumentar a aderência. Instantes antes do lançamento do graute ou microconcreto, limpar e secar o substrato de concreto com jato de ar seco ou acetona.

Preparo: em um misturador mecânico, adicionar água ao pó na relação água/pó 0,12 a 0,14 para a argamassa fluida base cimento, e 0,11 a 0,13 para o microconcreto fluido. Misturar e homoge-neizar por 3 minutos.

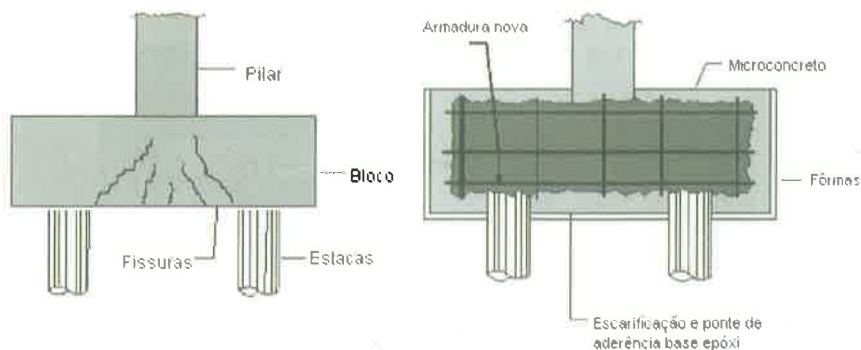



Figura 8.13.1. Reforço de bloco com graute ou microconcreto fluido.

Alcance:

- reforços cuja espessura na seção transversal ≤ 6 cm - argamassa fluida base cimento
- reforços cuja espessura na seção transversal ≤ 30 cm - microconcreto fluido.

Substrato: quebrar arestas e escarificar a superfície para aumentar a aderência. Instantes antes do lançamento do graute ou microconcreto, limpar e secar o substrato de concreto com jato de ar seco ou acetona.

Preparo: em um misturador mecânico, adicionar água ao pó na relação água/pó 0,12 a 0,14 para a argamassa fluida base cimento, e 0,11 a 0,13 para o microconcreto fluido. Misturar e homoge-neizar por 3 minutos.

Aplicação: colocar a nova armadura conforme o projeto. Posicionar fôrmas estanques e rígidas. Aplicar ponte de aderência com adesivo base epóxi (de baixa viscosidade) sobre as superfícies de concreto. Observando o tempo de manuseio e de colagem do adesivo, grautear o bloco suave e continuamente a partir de um dos lados, evitando a formação de bolhas de ar, até que o material apareça do outro lado.

Acabamento: após remover as fôrmas, decorridas pelo menos 48 horas, cortar os excessos, sempre de baixo para cima, para evitar lascamentos. Dar acabamento com argamassa polimérica base cimento (de baixa retração).

Cura: úmida por 7 dias ou com duas demãos de adesivo base acrílica (membrana de cura) aplicadas com pulverizador, brocha ou rolo. Nas primeiras 36 horas, evitar a radiação solar direta com anteparos.

8.13.2 Reforço de blocos com concreto

Alcance: reforços de qualquer dimensão, desde que com espessura de fundo e» 8 cm e laterais ≥ 5 cm.

Substrato: quebrar arestas e escarificar a superfície para aumentar a aderência.

Instantes antes do lançamento do graute ou microconcreto, limpar e secar o substrato de concreto com jato de ar seco ou acetona.

Preparo: relação água/cimento d» 0,50, abatimento de 10 a 15 cm, aditivo superplastificante e dimensão máxima característica do agregado graúdo igual a 1/4 da menor dimensão da peça.

Aplicação: colocar a nova armadura conforme o projeto. Posicionar fôrmas estanques e rígidas. Aplicar ponte de aderência com adesivo base epóxi (de baixa viscosidade) sobre as superfícies de concreto. Observando o tempo de manuseio e de colagem do adesivo, concretar o fundo do bloco a partir de um dos lados, até que o material apareça do outro lado. Colocar as fôrmas nas laterais e concretar, adensando com soquete ou vibrador adequado.

Cura: úmida por 14 dias ou com duas demãos de adesivo base acrílica (membrana de cura) aplicadas com pulverizador, brocha ou rolo. Nas primeiras 36 horas, evitar a radiação solar direta com anteparos.

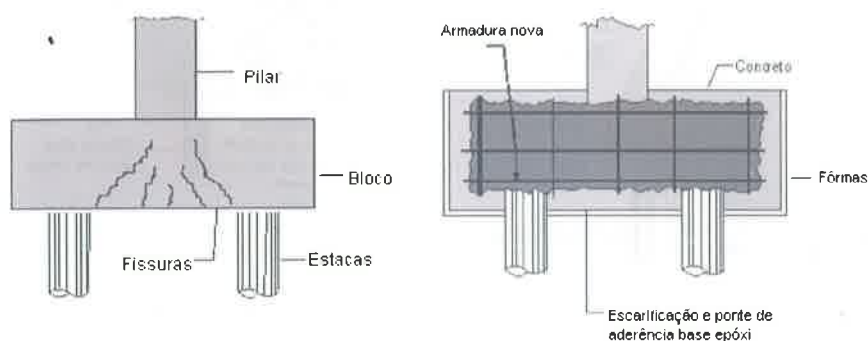



Figura 8.13.2. Reforço de bloco com concreto.

8.13.3 Reforço de sapatas com graute ou microconcreto fluido

Alcance:

- reforços cuja espessura ≤ 6 cm - argamassa fluida base cimento.
- reforços cuja espessura ≤ 30 cm - microconcreto fluido.

Substrato: quebrar arestas e escarificar a superfície ex-posta. Substrato saturado e com superfície seca, sem empoçamentos.

Preparo: em um misturador mecânico, adicionar água ao pó na relação água/pó 0,12 a 0,14 para a argamassa fluida base cimento, e 0,11 a 0,13 para o microconcreto fluido. Misturar e homoge-neizar por 3 minutos.

Aplicação: escarificar a parte lateral e superior da sapata. Colocar armaduras conforme o projeto. Furar a alma da sapata e chumbar barras de reforço conforme projeto, utilizando resina poliéster (tixotrópica) para ancoragem, deixando pelo

menos 30 cm de cada lado. Demolir o que for necessário. Se a armadura na sapata original for suficien-te, conectar novas armaduras à antiga com emendas mecânicas (tipo luva de pressão CCL). Caso a armadura for insuficiente, a sapata deverá ser demolida em um pequeno trecho, para atravessar a armadura complementar necessária. Neste caso preencher com graute epóxi fluido (para reparos profundos) os furos passantes da nova armadura complementar. Lançar cuidadosamente o graute ou microconcreto fluido sobre o substrato saturado, porém sem empoçamentos, evitando a formação de bolhas de ar.

Cura: úmida por 7 dias ou com duas demãos de adesivo base acrílica (membrana de cura) aplicadas com pulverizador, brocha ou rolo. Nas primeiras 36 horas, evitar a radiação solar direta com anteparos.

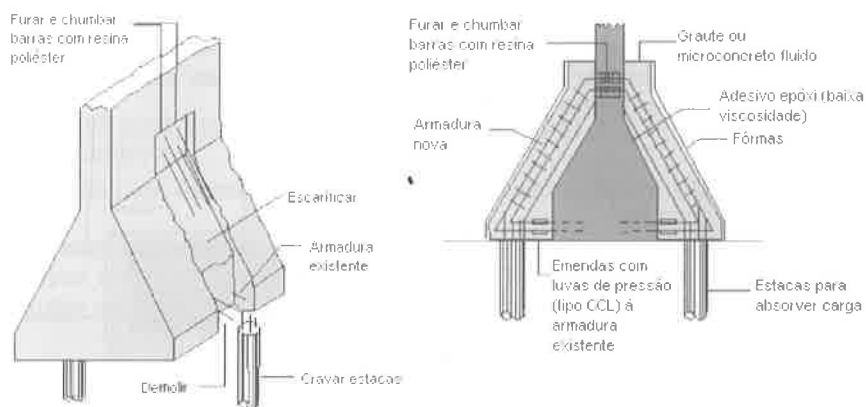



Figura 8.13.3. Reforço de sapatas com graute ou microconcreto fluido.

8.13.4 Reforço de sapatas com concreto

Alcance: reforços de qualquer dimensão, desde que com espessura mínima e» 5 cm (transferência de carga).

Substrato: quebrar arestas e escarificar a superfície para aumentar a aderência. Substrato seco com aplicação de ponte de aderência com adesivo base epóxi (de baixa viscosidade).

Preparo: relação água/cimento d» 0,50, abatimento de 10 a 15 cm, aditivo superplastificante e dimensão máxima característica do agregado graúdo igual a 1/4 da menor dimensão da peça.

Aplicação: furar a alma da sapata e fixar as barras de reforço conforme projeto com resina poliester (tixotropica) para ancoragem. Escarificar a parte lateral e superior da sapata.

Demolir o que for necessário. Se a armadura na sapata original for suficiente, conectar novas armaduras à antiga com emendas mecânicas (tipo CCL). Caso a armadura for insuficiente, a sapata deverá ser demolida em um pequeno trecho,

para atravessar a armadura complementar necessária. Neste caso preencher com graute epóxi fluido (para reparos profundos) os furos passantes da nova armadura complementar. Colocar o restante das armaduras conforme projeto. Concretar as laterais com uso de fôrmas e aplicar nas superfícies laterais e superior ponte de aderência com adesivo base epóxi (de baixa viscosidade).

Acabamento: desempenadeira de madeira.

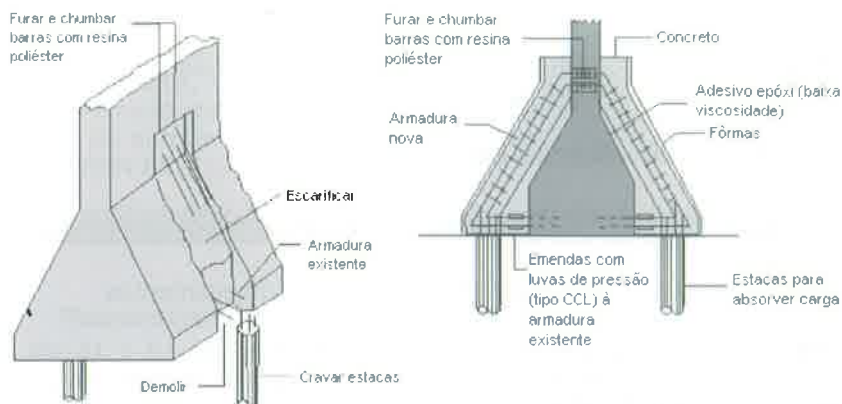



Figura 8.13.4. Reforço de sapatas com concreto.

Cura: úmida por 14 dias ou com duas demãos de adesivo base acrílica (membrana de cura) aplicadas com pulverizador, brocha ou rolo. Nas primeiras 36 horas, evitar a radiação solar direta com anteparos.

8.13.5 Reforço de estacas com graute ou microconcreto fluido

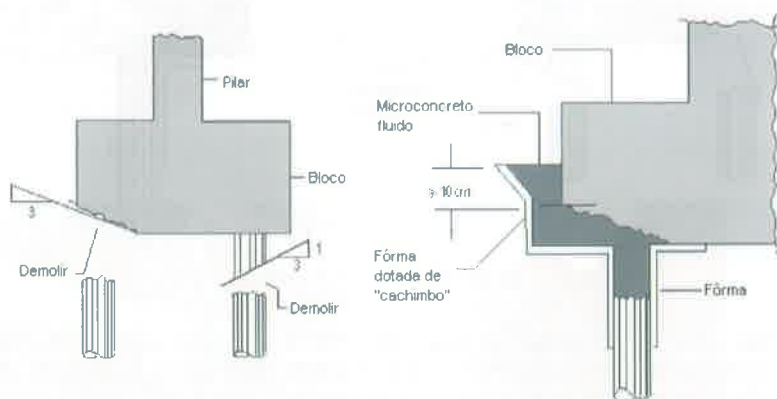



Figura 8.13.5. Reforço de estacas com graute ou microconcreto fluido.

Alcance: preenchimento de cavidades, onde a maior dimensão d» 30 cm.

Substrato: saturado e com superfície seca, sem empoçamentos.

Preparo: em um misturador mecânico, adicionar água ao pó na relação água/pó de 0,11 a 0,13.

Aplicação: quando se tratar de topo de estaca, demolir arestas do bloco para facilitar o lançamento do microconcreto. Colocar nova armadura conforme o projeto, e colocar fôrmas com «cachimbo» ou funil. Lançar o microconcreto fluido suave e continuamente, sempre pelo mesmo lado, até atingir altura de 10 cm acima do limite da cavidade.

Cura: úmida por 7 dias ou com duas demãos de adesivo base acrílica (membrana de cura) aplicadas com pulverizador, brocha ou rolo. Nas primeiras 36 horas, evitar a radiação solar direta com anteparos.

8.13.6 Reforço de estacas com concreto

Alcance: preenchimento de cavidades com qualquer dimensão (e e»5 cm).

Substrato: saturado e com superfície seca, sem empoçamentos.

Preparo: relação água/cimento d» 0,50, abatimento de 10 a 15 cm, aditivo superplastificante e dimensão máxima característica do agregado graúdo igual a 1/4 da menor dimensão a ser concretada.

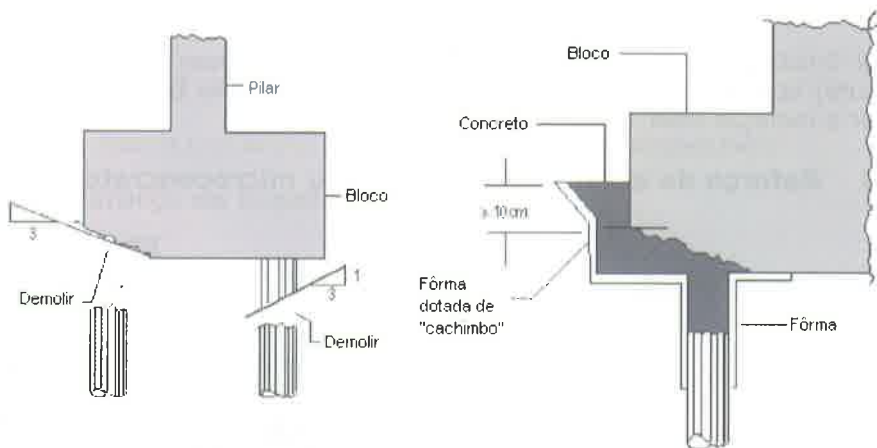



Figura 8.13.6. Reforço de estacas com concreto.

Aplicação: quando se tratar de topo de estaca, demolir arestas do bloco para facilitar a concretagem. Colocar nova armadura conforme o projeto, e colocar fôrmas com «cachimbo» ou funil. Lançar o concreto adensando bem com vibrador adequado.

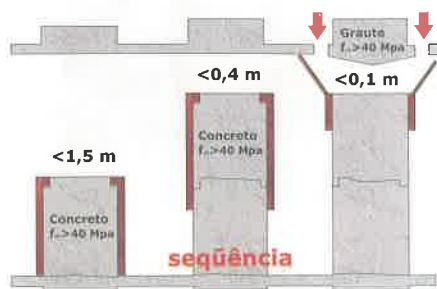
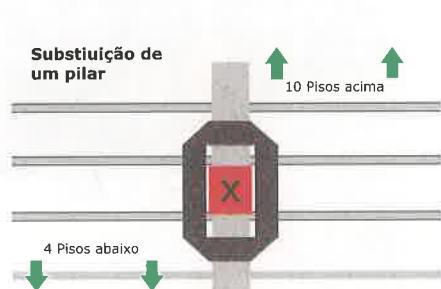
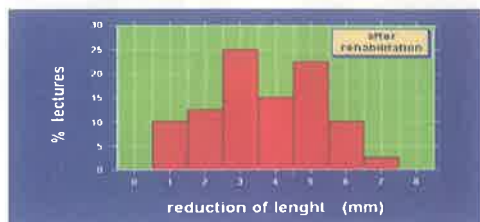
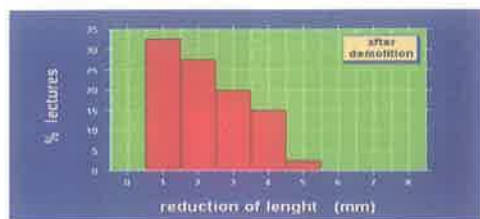
Cura: úmida por 14 dias ou com duas demãos de adesivo base acrílica (membrana de cura) aplicadas com pulverizador, brocha ou rolo. Nas primeiras 36 horas, evitar a radiação solar direta com anteparos.

8.14 Reforço com CFC (PRF), fibras de carbono

A seguir, são apresentadas algumas alternativas de reforços que podem ser executados com polímeros ou plásticos reforçados com fibras-PRF (em inglês, *fiber reinforced polymers*-FRP), sendo que os perfis e as mantas de fibra de carbono com resina epóxi, denominados reforço CFC (Compósito de Fibra de Carbono), são os mais empregados atualmente.

Para aprofundar-se no assunto e conhecer os procedimentos e detalhes recomendados para o projeto ou a especificação do reforço adequado para cada situação específica, recomenda-se a consulta ao livro Reforço de Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono – características, dimensionamento e aplicação, de autoria de Ary de Paula MACHADO. São Paulo, Editora Pini, 2002. (282 p). ISBN 85 7266 138 7.

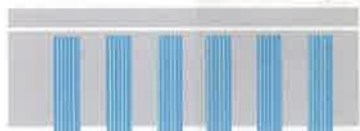
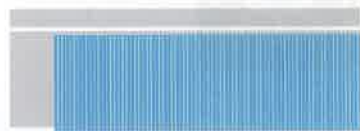
8.15 Exemplo de Reconstrução de Pilares

8.15.1 Reconstrução de pilar de edifício

Manta de fibra de carbono para recuperação de estruturas de concreto.

Exemplos de reforço a cortante.

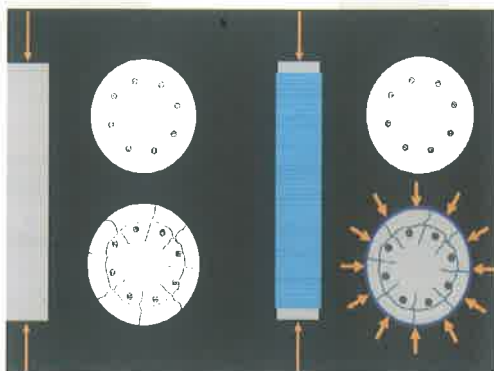
Reforço de vigas e reticulados a flexão.

Exemplo de reforço de vigas a flexão com uso de PRF, fibras de carbono.

Alternativas de intervenção para reforço a cortante.

Faixas verticales

Manta

Faixas inclinadas

Exemplos de alternativas de reforço a cortante em vigas.

Encamisamento de pilares com PRF, fibras de carbono.

Princípio do encamisamento.

Encamisamento de pilares em juntas.

CAPÍTULO 09

Procedimentos de Proteção e Manutenção de Estruturas

CAPÍTULO 09

Procedimentos de Proteção e Manutenção de Estruturas

Autores
Jorge Franco
Cecília Reggiardo
Fernanda Pereira

Adriana Gambogi
Alberto Ponce Delgado
Alejandra García
Edith Camejo
Gabriel Gonzaléz
Rusé Gonzalez

Introdução

Toda obra de Engenharia ou Arquitetura pode ser considerada como um sistema de maior ou menor complexidade criado para satisfazer um conjunto de necessidades.

A exposição dos componentes e/ou subsistemas que a integram aos diferentes agentes de degradação produzirá deterioração e perda de desempenho.

Para garantir que o desempenho de cada dos subsistemas não esteja abaixo de um mínimo admissível durante sua vida útil, serão necessários serviços de proteção e manutenção, conforme mostrado na Figura 9.1.

A estrutura é um dos subsistemas da obra, e como tal deve contribuir para que a mesma em seu conjunto cumpra com o fim para o qual foi criada. Os serviços de proteção e manutenção de tal subsistema deverão formar parte do plano geral de manutenção da obra.

Dentro deste enfoque é que as estruturas de concreto deverão ser estudadas.

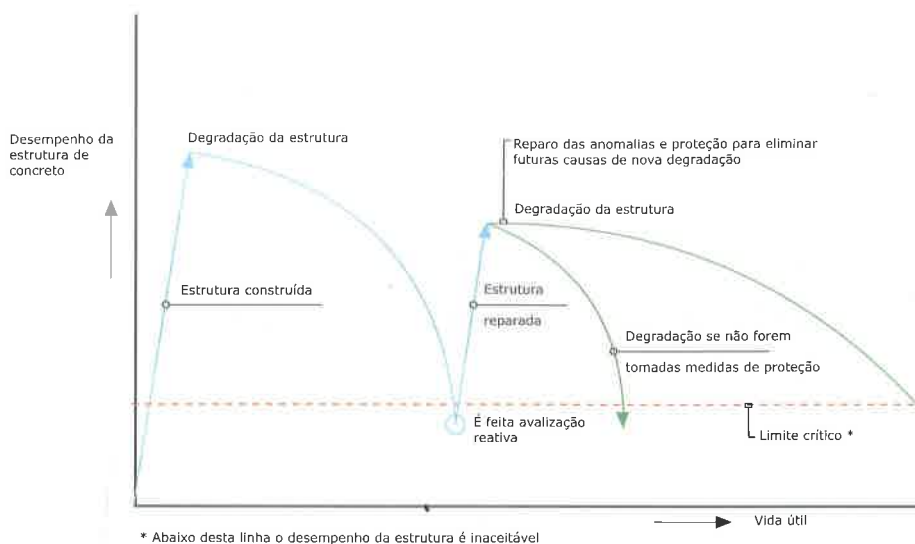



Figura 9.1 Desempenho da Estrutura de Concreto vs Tempo em Serviço.

9.1 Estrutura da Superfície de Concreto

O concreto é um material heterogêneo, principalmente quando analisado em escala microscópica. É composto de um conjunto de agregados envoltos e unidos por uma pasta aglomerante.

As superfícies visíveis externas das peças de concreto são essencialmente constituídas por uma pasta de cimento. Esta pasta é responsáveel pela cor, em geral cinza, da superfície do concreto. Quanto maior a relação água/cimento da pasta, mais clara é a superfície.

Devido ao fenômeno conhecido por «efeito parede», há uma concentração de argamassa (cimento e grãos de dimensão inferior a 0,2 mm) e pasta na superfície. Se fizermos um desbaste e retirarmos a capa superficial de pasta, aparecerá uma superfície contendo poros e grãos de areia imersos em uma matriz de pasta de cimento. Estas características mantêm-se até uma espessura da ordem de 5 mm, a partir da qual começam a aparecer os agregados graúdos, e uma certa homogeneidade somente é verificada a partir dos 15 mm de profundidade (função da dimensão máxima característica do agregado graúdo), conforme o esboço apresentado na Figura 9.1.1 a seguir.

A espessura de cada camada depende do consumo de cimento, teor de argamassa, dimensão máxima caracerística do agregado graúdo, grau de adensamento e outras características, variáveis de um concreto a outro,

apresentando-se na Figura 9.1.1 um corte esquemático e conceitual.

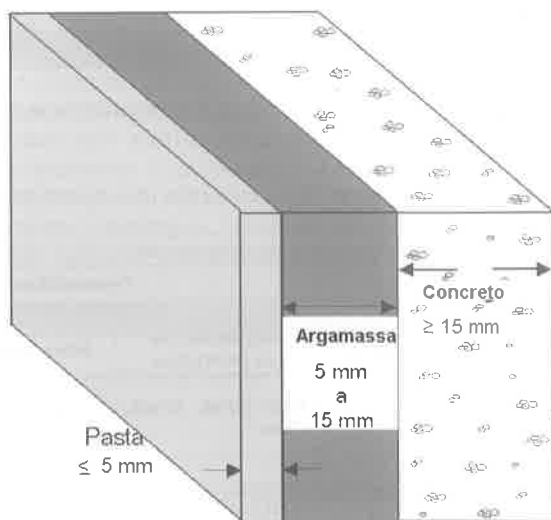



Figura 9.1.1 Distribuição heterogênea dos constituintes do concreto devido ao efeito de confinamento da fôrma.

A concentração de argamassa e pasta de cimento na superfície faz com que a superfície do concreto tenha características distintas das do interior, apresentando:

- maior porosidade, decorrente da inexistência de agregados graúdos;
- maior retração química, de secagem e de carbonatação, devido ao maior consumo de cimento por metro cúbico;
- maior sensibilidade à ação da cura.

Esta pele de pasta de cimento também possui características químicas variáveis no tempo. Logo após o adensamento e durante o período de cura úmida seu pH é alcalino, da ordem de 12,6. A partir da interrupção da cura, inicia-se a carbonatação, que reduz este pH elevado. Nos poros da pasta há hidróxido de cálcio, $Ca(OH)_2$, resultante da hidratação do cimento. Estes cristais, também conhecidos como portlandita, são facilmente solúveis em águas ácidas, podendo ser transportados e carreados para o exterior da superfície do concreto, formando eflorescências e manchas. A massa total de portlandita pode atingir de 20 a 25 % da massa total de cimento usado no traço.

A maior porosidade da pasta superficial pode ser minorada pela redução da relação água/cimento do concreto, com conseqüente aumento do consumo de cimento por metro cúbico. Esta é, provavelmente, a razão de as recomendações internacionais especificarem consumo mínimo de 450 a 650 kg de cimento por m^3 de concreto aparente. Nestas condições e com cura adequada, a porosidade da pasta superficial pode ser reduzida para valores abaixo de 10 %, o mínimo necessário para garantir uma proteção e

durabilidade adequada ao componente estrutural exposto à ação agressiva de certos ambientes.

9.2 Principais Mecanismos de Degradação

A Tabela 9.2.1 a seguir reúne os principais mecanismos de degradação das superfícies de concreto.

Tabela 9.2.1. Principais mecanismos de deterioração das superfícies de concreto.

Mecanismos de Degradação			
Agressividade		**Conseqüências inerentes ao processo**	
Natureza do processo	**Condições particulares**	**Alterações de cor/manchas**	**Alterações Físico-Químicas**
Carbonatação	UR 60 % a 85 %	Em geral, mais clara	Redução do pH Corrosão das armaduras Fissuração superficial
Lixiviação	Atmosfera ácida, águas brandas	Escurece com manchas	Redução do pH Corrosão das armaduras Desagregação superficial
Retração	Molhagem/secagem Ausência de cura	Manchas e fissuras	Fissuração Redução do pH Corrosão das armaduras
Fuligem	Atmosferas urbanas e industriais (regiões úmidas)	Manchas escuras	Redução do pH Corrosão das armaduras
Fungos	Regiões úmidas e salinas	Manchas escuras esverdeadas	Redução do pH Desagregação superficial Corrosão das armaduras
Concentração Salina	Atmosferas marinhas e industriais	Branqueamento	Despassivação da armadura Desagregação superficial

Cabe salientar que vários produtos químicos têm efeito deletério sobre as superfícies de concreto. Os mecanismos de tais degradações nem sempre são de fácil entendimento. Porém, com base em resultados de pesquisas realizadas, estão disponíveis guias e tabelas que relatam o efeito de tais substâncias sobre o concreto[1].

A deterioração pode ser causada por suco de frutas, leite e seus derivados, melaço de cana-de-açúcar, açucar, vinho, cereais, adubos, águas industriais provenientes de estações de tratamento de esgotos, restos animais, sangue e outros. De uma forma geral, ácidos orgânicos e minerais podem atacar o concreto.

É importante considerar que a vulnerabilidade do concreto ao ataque químico depende basicamente da permeabilidade, alcalinidade e reatividade dos compostos hidratados do cimento.

A penetração de fluidos através do concreto é, algumas vezes, acompanhada por reações químicas com o cimento, agregados ou com as barras de aço. Quando um aglomerante alcalino como o cimento Portland hidratado reage

com substâncias ácidas, estas reações são freqüentemente iniciadas por formação e remoção de produtos solúveis, seguindo-se a desintegração do concreto. Todavia, se os produtos de reação forem insolúveis, são formadas deposições na superfície do concreto, que podem ser consideradas como redutoras da velocidade de continuidade destas reações. Portanto, sempre que houver contato do concreto com substâncias químicas, os efeitos destas substâncias devem ser avaliados com base em textos específicos sobre o tema, como por exemplo a publicação *«Efeito* de *várias substâncias sobre* o concreto», da Associação Brasileira de Cimento Portland-ABCP, *ou o «Handbook* of *corrosion resistant coatings»* (Manual de Revestimentos Anticorrosivos), de autoria de D.J. DE RENZO, publicado pela NDC, em 1986.

9.3 MANUTENÇÃO

É o trabalho de reacondicionamento ao melhor padrão (anterior) de utilização do componente ou estrutura empregando um conjunto de ações periódicas ou continuadas.

De acordo com o tipo de técnica aplicado para o diagnóstico e correção das falhas durante o serviço da estrutura, podem-se distinguir diferentes tipos de manutenção:

- ***Manutenção Preditiva*** – compreende as ações técnicas cuja necessidade de realização pode ser prevista e programada em função da obediência a padrões de durabilidade e parâmetros de desempenho, sendo que a tendência de degradação da estrutura constitui um indício que permite predizer a ocasião em que os respectivos trabalhos de correção serão convenientemente necessários do ponto de vista técnico-econômico.
- ***Manutenção Preventiva*** – é a ação técnica realizada para prevenir a ocorrência de uma falha ou lesão. Baseia-se no diagnóstico precoce de sintomas ou anomalias patológicas mediante inspeções periódicas e a programação das tarefas preventivas pertinentes.
- ***Manutenção Corretiva Programável*** – é aquela cuja realização é decidida a partir do diagnóstico de um problema, porém não requer ser realizada no momento, sendo possível adiá-la para uma ocasião mais oportuna.
- ***Manutenção Corretiva de Emergência*** – ações técnicas realizadas quando ocorreu uma falha ou lesão, ou quando se presume sua ocorrência imediata, que causa o mau desempenho ou afeta a essência funcional do mesmo. Demanda ações imediatas.

Os serviços de ***Manutenção Corretiva*** (*tanto os de Emergência quanto os Programáveis*) são abordados no Capítulo 6 "Procedimentos de Reparo".

De um ponto de vista ideal, as estruturas de concreto deveriam ser projetadas, construídas e utilizadas de modo que, sob as condições ambientais previstas, e respeitadas as condições de manutenção preventiva especificadas no projeto, conservassem a segurança, estabilidade, aptidão para o serviço e aparência aceitável durante um período prefixado de tempo e *em relação à*

vida útil da obra total, sem exigir medidas extras de manutenção ou reparo[2].

Lamentavelmente, tal extremo é poucas vezes alcançado em nosso meio (os problemas nas estruturas de concreto devidos a baixa qualidade de projeto, execução ou manutenção insuficientes - quando existentes - são comuns na região) e por esta razão os serviços de reparo (manutenção corretiva) são mais freqüentes que o desejável.

Ao falar de "*Recuperação de Estruturas de Concreto*", pouco podemos fazer com referência às etapas de Projeto e Execução, além de advertir especialmente sobre a importância destas etapas. Não obstante, é válido enfatizar o cuidado que se deve ter nos trabalhos de proteção e manutenção, pois destes dependem importantes economias ao serem evitados reparos mais dispendiosos.

Neste sentido, é importante recordar a "*Lei de evolução dos custos*", também chamada de *Lei de Sitter*, que nos indica que adiar uma intervenção significa aumentar os custos diretos em progressão geométrica de razão 5 (cinco). Em outras palavras, se o custo da manutenção preventiva é 5, o custo dos reparos necessários (manutenção corretiva) por não ter sido realizada a manutenção preventiva correspondente, será igual a 25 (vinte e cinco), conforme apresentado na Figura 9.3.1.

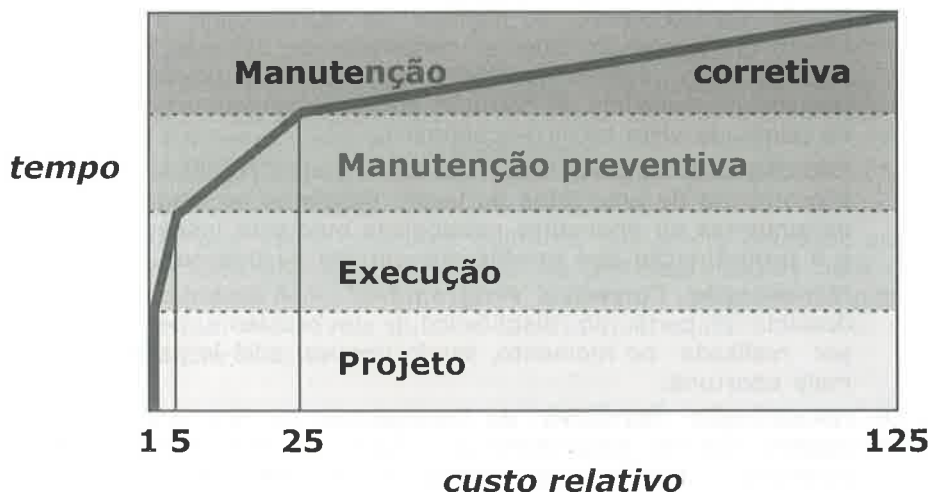



Figura 9.3.1 Lei de evolução de custos (SITTER, 1984, CEB RILEM).

9.4 Sistemas de Proteção de Fachadas de Concreto

9.4.1 Procedimentos de proteção

São métodos para controlar as causas que provocam a deterioração ou a

perda de desempenho.

Conhecer os principais fatores que influem na durabilidade de uma estrutura de concreto, descritos na Figura 9.4.1, é básico para poder selecionar os procedimentos de proteção adequados para cada situação em particular.

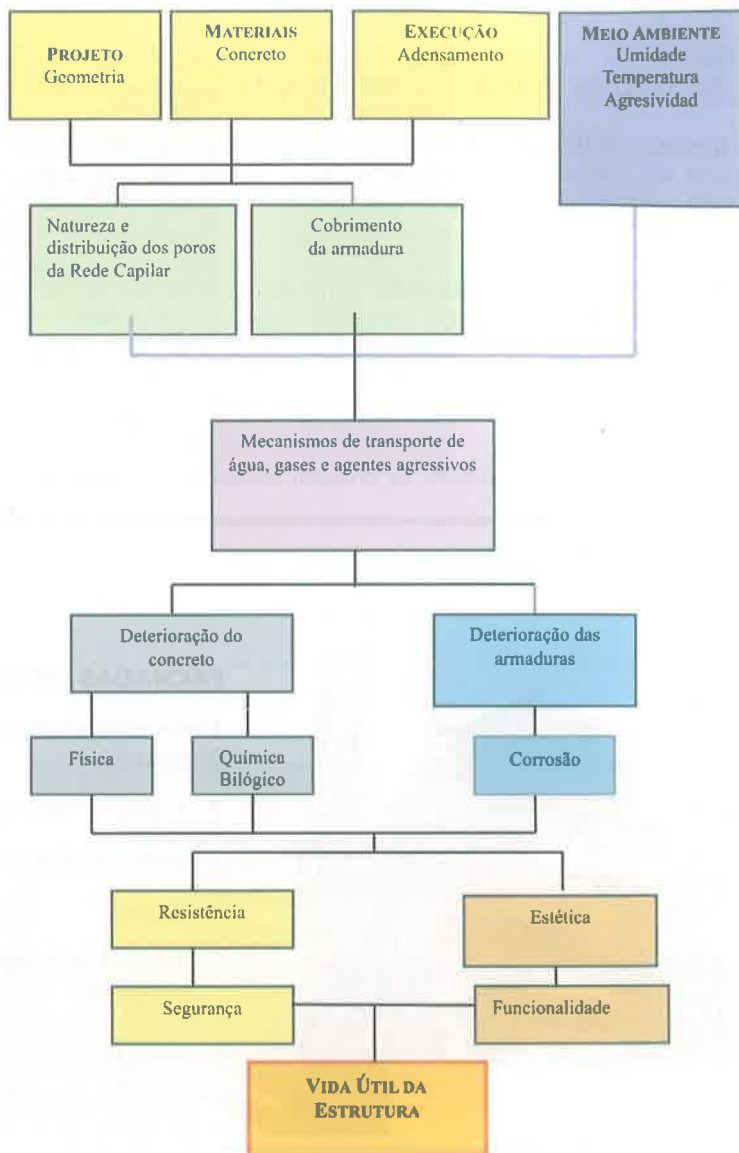



Figura 9.4.1 Fatores que influem na durabilidade de uma estrutura (MONTOYA - MESEGUER - MORAN).

Neste sentido, as estruturas de concreto poderão ser protegidas[3]:

- Modificando-se as condições de serviço ou exposição;
- melhorando-se as propriedades físicas do concreto para resistir melhor às condições de exposição ou serviço;
- colocando uma barreira entre as "condições de serviço/exposição" e a superfície do concreto;
- alterando o comportamento eletroquímico da armadura quando a corrosão da mesma é o fator de deterioração.

Para a escolha dos procedimentos de proteção e manutenção de uma estrutura de concreto, é necessário levar em conta uma série de fatores, que são expostos no Capítulo 3 "Orientação para a Seleção da Intervenção".

A seleção do sistema de proteção adequado implica a seleção de um procedimento geral e soluções para os pontos singulares (juntas) das diferentes estruturas, conforme apresentado na Tabelas 9.4.1 e 9.4.2 a seguir:

Tabela 9.4.1. Seleção do sistema de proteção adequado a cada estrutura.

FACHADAS DE CONCRETO

1 - SUPERFÍCIE GERAL (VERTICAIS)

2 - ÂNGULOS CONVEXOS

3 - ÂNGULOS CÔNCAVOS

4 - JUNTAS

5 - INTERFACES C/OUTROS MATERIAIS

PONTES E VIADUTOS

1 – SUPERESTRUTURA

2 – INFRA-ESTRUTURA

3 – DISPOSITIVOS DE APOIO

4 – SISTEMA DE DRENAGEM

5 – SISTEMA DE JUNTAS

Tabela 9.4.2. Seleção do sistema de proteção adequado a cada estrutura.

GALERIAS E TUBULAÇÕES DE REDES DE ESGOTOS

1 – SUPERFÍCIES EM GERAL

2 – SISTEMA DE JUNTAS

PISOS INDUSTRIAIS

1 – Superfícies em geral (horizontais)

2 – Juntas

3 – Meias-canas

4 – Sumidouros

5 – Drenos

9.4.2 Hidrofugantes

Mecanismos de proteção

A água penetra e se move nos materiais por diferentes mecanismos. No estado gasoso (vapor d'água), ela o faz por adsorção, difusão, evaporação e por convecção; no estado líquido, por absorção e por sucção capilar.

Para entender os mecanismos de proteção dos *impregnantes hidrofugantes*, interessa-nos em primeiro lugar o comportamento da água no estado líquido:

- Por um lado, a água pode penetrar no concreto por efeito de certa pressão positiva (que pode ser seu próprio peso no caso de uma massa de água, ou o efeito da pressão hidráulica, ou ainda o efeito da força do par água-vento no caso da chuva que atinge uma parede

fina). Este *fenômeno* é conhecido como "*absorção*" e acontece preferencialmente quando existem vazios maiores que 0,5 mm, que atuam como vias de descompressão.

- Por outro lado, a água pode penetrar e mover-se dentro do concreto por efeito de uma certa atração entre a água e o concreto. Este fenômeno é conhecido como "*sucção capilar*". A força de atração que é exercida é inversamente proporcional ao diâmetro do capilar e diretamente proporcional ao cosseno do ângulo de contato entre a superfície da água e a parede do capilar (è), conforme a Figura 9.4.2.
- Pode - se modelar a sucção capilar com a seguinte expressão matemática:

$$h = \frac{2T_w \cos q}{r g g}$$

Para poros de seção circular verticais

$$h = \frac{2T_w \cos q}{rg}$$

Para poros de seção circular horizontais

h = Profundidade atingida pela água, em m.
T_w = Tensão superficial da água (7,5 N/m)
θ = Ângulo de contato entre a superfície da água e a parede do capilar.
r = Raio do capilar, em m (variável de 10^{-4} a 10^{-6} m)
g = Massa específica da água (equivalente a 1.000 kg/m^3)
g = Aceleração da gravidade (equivalente a 10 m/s)

"**Tw**", "**g**", e "***g*** " tomam valores constantes para uma situação particular, e assim o "**h**" pode ser expresso como: $h = \frac{k \cos q}{r}$

Nota: No caso de fissuras de paredes planas, o valor h será a metade do h calculado para poro de seção circular de raio igual à abertura da fissura.

Figura 9.4.2 . Modelagem matemática do mecanismo de sucção capilar.

Na ausência de forças externas, uma gota d'água adota uma forma esférica devido a que a tensão superficial tende a contrair a superfície externa ao mínimo. Quando uma destas gotas entra em contato com o concreto, a «*sucção capilar*» faz com que a forma original dessa gota se transforme, adotando outra forma extremamente ramificada e com grande superfície de contato com o sólido.

Para que isto se produza espontaneamente, a atração entre a superfície do concreto e a água deve ser tão grande que supere a resistência original da água cuja superfície está sendo estendida. Se tal atração não for suficiente, a água não molhará o sólido.

Os impregnantes hidrofugantes são produtos líquidos - de baixa

viscosidade - que penetram o concreto para formar uma capa hidrofugante sobre as paredes dos poros[4].

Esta capa modifica a tensão superficial do concreto (altera o ângulo de contato ou molhamento), de tal forma que reduz significativamente a «sucção capilar», conforme mostrado na Figura 9.4.3.

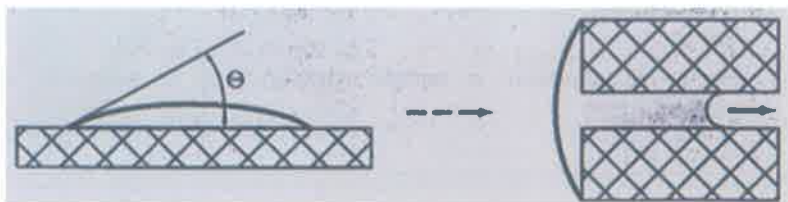
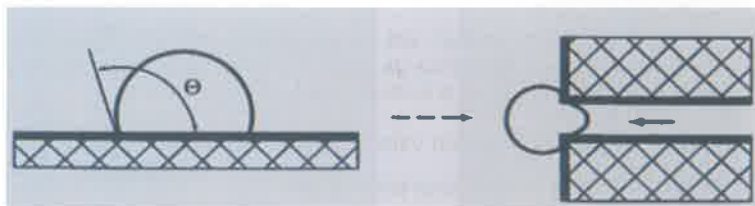



Figura 9.4.3. Mecanismo de Proteção.

Os poros capilares do concreto não se obturam, e sim apenas ficam cobertos pelo impregnante hidrofugante sem produzir película, conforme a Figura 9.4.4. Este mecanismo de proteção permite a difusão do vapor d'água, mas não impede a absorção de água líquida por efeito de uma pressão positiva sobre os mesmos.

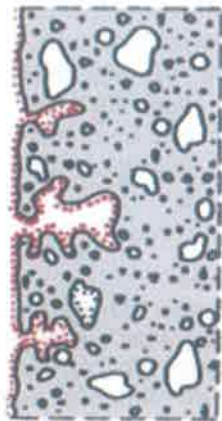



Figura 9.4.4. Mecanismo de proteção dos hidrofugantes.

Características

- possuem duração limitada;
- reduzem a absorção de água por capilaridade;
- aumentam a resistência ao congelamento;
- reduzem a absorção de substâncias nocivas dissolvidas na água
- (por exemplo, sais solúveis);
- reduzem a carbonatação (não a impedem);
- reduzem a lixiviação (não a impedem);
- não modificam substancialmente a permeabilidade ao vapor d'água;
- não modificam a estética da superfície;
- não requerem superfície lisa e contínua para sua aplicação. São apropriados para o tratamento de superfícies de concreto aparente obtido com fôrmas rústicas;
- não impedem a penetração de água, gases ou vapores sob pressão.

Propriedades

Estas características conferem ao material a propriedade de proteger o concreto, embora com duração limitada, especialmente contra:

- A corrosão causada pelo ingresso de sais solúveis (cloretos) como ocorre, por exemplo, em zonas marítimas com névoa salina, ou em pontes onde são utilizados sais de degelo;
- a degradação física causada pelo congelamento da água dentro de seus poros.

Além disso:

- As superfícies tratadas com um (impregnante) hidrofugante sujam-

se menos facilmente. Um exemplo disto é que os hidrofugantes são utilizados como sistemas de proteção contra pichação;

- conferem melhores valores médios de isolamento térmico das paredes externas. Por um lado, os poros cheios de ar são piores condutores de calor que os poros cheios de água, e, por outro lado, consumem menos energia para a evaporação da água que haja penetrado.

Limitações

- Sua eficácia depende, dentre outros fatores, de sua resistência à alcalinidade e aos raios ultravioleta, do grau de penetração do hidrofugante nos poros do concreto e da ancoragem da substância ativa, assim como do tamanho de poros e fissuras;
- não são recomendados nas situações de pressão hidrostática permanente.

Natureza dos produtos

Os impregnantes hidrofugantes são constituídos por compostos sílico-orgânicos, dentre os quais destacam-se:

- Silanos (trialcoxialquilsilanos);
- siloxanos oligoméricos;
- siloxanos poliméricos
- resinas de silicones;
- siliconatos.

Todos os agentes hidrofugantes à base de silicone podem ser obtidos a partir de um alquiltriclorosilano, conforme a Figura 9.4.5.

Caso o R- seja um grupo metil (CH3-), os produtos obtidos serão adequados para impregnar materiais de construção neutros ou pouco alcalinos.

Se o grupo alquil é de cadeia mais longa, por exemplo C4H9- ou C8H17-, serão obtidos hidrofugantes apropriados para serem aplicados em materiais altamente alcalinos.

Qualquer que seja o produto de base, os hidrofugantes sempre geram *resinas de silicones*, que estarão ligadas quimicamente à base do concreto. Todos estes produtos (exceto as resinas), depois de aplicados, passam por uma etapa intermediária de cura em que são produzidos grupos silanol que, além de reagir entre si por condensação para produzir uma resina, podem reagir com o substrato ficando unidos quimicamente ao material de construção. As resinas empregadas neste campo têm grupos silanol livres que desempenham esta mesma função.

As várias classes de compostos se diferenciam, entre outras coisas, pelo

tamanho de suas moléculas, pela reatividade e solubilidade na água e nos solventes orgânicos. Os produtos costumavam ser líquidos, porém ultimamente têm aparecido no mercado produtos tixotrópicos que permanecem estáveis, sem escorrer.

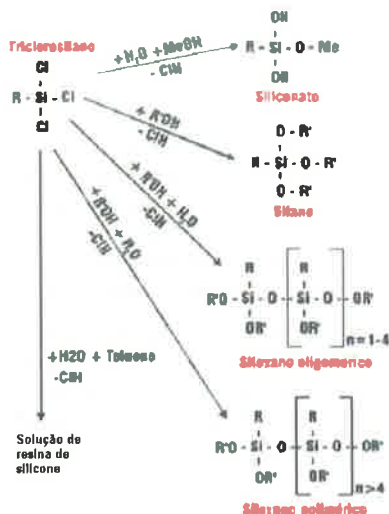



Figura 9.4.5. Obtenção dos hidrofugantes.

Na prática, atualmente são utilizados em geral: silanos e Ssloxanos oligoméricos, ou uma mistura de ambos.

Siliconatos (metil-siliconatos de sódio ou potássio)

São solúveis em água. Para reagir e fixar-se à base, requerem que o substrato tenha secado ao ar antes de sua aplicação, reagem com o dióxido de carbono (CO_2) do ar, produzindo a substância ativa, um ácido. Sensíveis à alcalinidade, porque o substrato é alcalino, porém não têm boa resistência à mesma, contêm muitos sais, os quais poderiam produzir manchas brancas, portanto inapropriados para o tratamento superficial de fachadas. Sua durabilidade é baixa (< 6 meses).

Somente podem ser utilizados no tratamento de materiais muito absorventes. Seu principal campo de aplicação é a impregnação durante a produção de concreto poroso.

A reação que ocorre depois da aplicação está representada na Figura 9.4.6.

$$R-Si(OH)_2-O-Me \xrightarrow[-Me_2CO_3]{+CO_2} R-Si(OH)_2-OH \longrightarrow \text{RESINA}$$

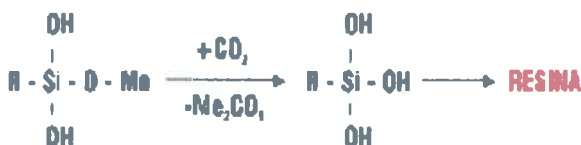



Figura 9.4.6. Reações dos siliconatos.

Os *siliconatos* subdividem-se em dois grupos:

- *Alcalinos:* Quimicamente são sais metálicos (Me = Na ou K) do ácido metil-silícico. Sua ação hidrorrepelente somente se desenvolve após ter reagido com o ácido carbônico do ar. Se forem aplicados de forma irregular poderão produzir manchas brancas devidas à formação de camadas de carbonato sódico ou potássico. Na prática, prefere-se usar os siliconatos potássicos, já que, sendo o carbonato potássico menos volumoso, ele é menos visível na superfície hidrofugada.
- *Polialquídicos:* Quimicamente semelhantes aos anteriores, porém o metal foi substituído por radicais alquil (Me = CH3- ou C3H7-), o que lhes proporciona uma resistência aos álcalis muito mais elevada. À diferença dos metil-siliconatos, os propil-siliconatos não requerem a presença do ar (CO_2) para produzir o efeito hidrofugante.

Silanos ou trialcoxi-alquilsilanos

Desde os primórdios da química do silício os silanos têm sido empregados para tornar hidrorrepelentes as superfícies do vidro, das fibras de vidro, pós minerais, etc. São principalmente meti-alcoxisilanos de baixo peso molecular (monômeros). Distinguem-se por uma grande capacidade de reação com os materiais sobre os quais são aplicados, e uma elevada profundidade de penetração devido a seu pequeno volume.

Como produto residual desprendem álcool, que se evapora e não mancha o substrato (ver Figura 9.4.7).

$$R-Si(O-R')_2-O-R' \xrightarrow[-R'OH]{+H2O\ +Cat.} R-Si(OH)_2-OH \longrightarrow \text{RESINA}$$

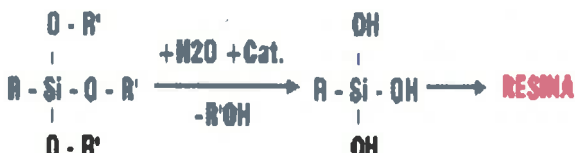



Figura 9.4.7. Reações dos silanos.

Dentre todos os impregnantes hidrofugantes, os trialcoxialquilsilanos são os que possuem as moléculas mais pequenas (diâmetros de $1{,}0 \times 10^{-6}$ a $1{,}5 \times 10^{-6}$ mm). Esta característica lhes confere o maior índice de mobilidade, assim como de volatilidade. Isto os torna especialmente indicados para os concretos mais compactos, embora sejam necessárias concentrações altas para compensar a substância que volatiliza.

Para reagir e se fixar à base, os silanos requerem umidade, e a velocidade de reação depende do pH do meio. Esta última característica favorece a aplicação destes produtos sobre superfícies de concreto, pois eles não reagem sobre superfícies neutras como o tijolo ou rochas. Entretanto, quando o concreto sofreu uma diminuição importante do pH pela ação do anidrido carbônico (carbonatação), entre outros, a velocidade de reação diminui. Nestes casos, para aumentar as possibilidades de êxito, é preciso usar concentrações muito altas (até 100 %), pois enquanto a reação está ocorrendo, o silano se evapora; ainda assim, em condições extremas de secura e vento, pode ser insuficiente a quantidade de produto que chega a reagir para produzir o efeito hidrofugante desejado. A reação de transformação requer um certo tempo para se completar; se os materiais estiverem secos e houver pouca umidade atmosférica ou muito vento, eles poderão evaporar-se antes que ocorra a reação de transformação.

Se não acontecer o «efeito perlante» (formação de gotas ou pérolas) com a água, existe o perigo de que sejam lavados os materiais caso chova antes de haver-se completado a reação.

Não é necessário que as superfícies sobre as quais serão aplicados os silanos estajam completamente secas antes (naturalmente, se os poros estão completamente cheios de água, o produto não conseguirá penetrar suficientemente).

Seu principal campo de aplicação na construção é, para os tipos especiais catalisados e com grupos alquil longos, a hidrofugação (proteção superficial) de materiais muito pouco absorventes e porosos, como os concretos de alto desempenho.

O mais conhecido dentre os silanos monoméricos usados para a proteção de superfícies de concreto é o isobutil-trimetoxisilano.

Siloxanos oligoméricos

Possuem moléculas um pouco maiores (com diâmetros de 1,5 x 10^{-6} a 7,5 x 10^{-6} mm), mas, pelo menos em parte, podem penetrar facilmente nos poros capilares (diâmetro de 10^{-5} a 10^{-3} mm).

Possuem praticamente todas as vantagens dos silanos quanto à reatividade e repelência à água, porém possuem ainda menor resistência à difusão do vapor d'água.

Sua cadeia é formada por poucos grupos -Si-O-. Como pode ser visto na Figura 9.4.8, a formação da substância hidrofugante ocorre na presença de umidade e de um catalisador.

Compartilham com os silanos a vantagem do pequeno tamanho de molécula, o que facilita uma penetração profunda no substrato, a aplicabilidade sobre superfícies úmidas e a possibilidade de serem dissolvidos em álcoois anidros.

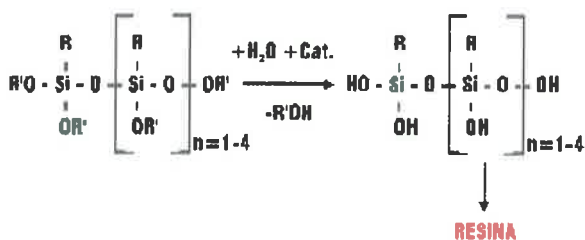



Figura 9.4.8. Reações dos alquil-alcoxisilanos oligoméricos.

Silanos vs. Siloxanos oligoméricos

Supõe-se que os silanos deveriam penetrar mais profundamente que os siloxanos, porém conforme o trabalho realizado pela Fosroc não são apreciáveis as diferenças entre ambos sistemas, exceto quando o substrato está completamente seco. A menor volatilidade dos siloxanos significa que sob condições de aplicação reais (no canteiro de obras, não no laboratório), maior quantidade de material ativo é retida na superfície do concreto. Não obstante, quando são aplicados siloxanos em alta concentração, para impregnar um concreto denso corre-se o risco de que estes permaneçam na superfície dando origem a manchas de aspecto resinoso bastante difíceis de eliminar.

Por outro lado, recentemente apareceram no mercado produtos à base de silanos, de consistência cremosa e características tixotrópicas.

Tais produtos recebem destaque comercial por sua reduzida volatilidade e pelo alto grau de penetração que é possível obter graças à alta concentração de substância ativa (80 %) e baixo peso molecular da mesma (silano).

Siloxanos poliméricos

Diferenciam-se dos anteriores pelo fato de que sua cadeia principal é formada por vários grupos -Si-O-, o que acarreta um tamanho de molécula muito superior e portanto um poder de penetração inferior. Seu comportamento é semelhante ao das resinas de silicone, com a desvantagem de que, se não estiverem convenientemente catalisados, permanecerão pegajosos durante longo tempo, podendo provocar a sujeira das fachadas, conforme se observa na Figura 9.4.9.

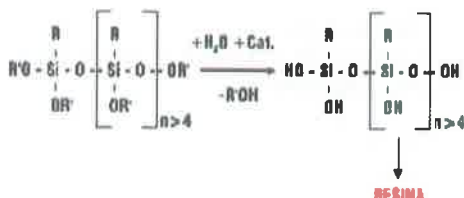



Figura 9.4.9. Reações dos alquil-alcoxilanos poliméricos.

Resinas de Silicones

Deixou-se de usar nos últimos anos. Estes materiais possuem um maior peso molecular que os silanos ou os siloxanos. Possuem penetrabilidade muito baixa. Não são materiais reativos, e para fixarem-se à superfície é preciso ocorrer a evaporação do solvente. Requerem que o substrato tenha secado ao ar antes da aplicação. São sistemas suscetíveis de sujarem-se e pouco resistentes ao intemperismo.

Atualmente são utilizadas resinas com peso molecular compreendido entre 2.000 e 3.000. Este peso molecular é muito baixo em comparação com o das resinas orgânicas, o que lhes proporciona maior penetração. Além disso, possuem grupos silanol (Si-OH) livres que podem reagir com outros grupos reativos da superfície do substrato formando uma união química, ou reagir entre si por condensação, aumentando o tamanho das moléculas. Ver Figura 9.4.10.

São fornecidas dissolvidas em solventes orgânicos, na forma de dispersões, ou em pó.

Com a evaporação do solvente, obtém-se o «efeito perlante» (formação de gotas), intenso e de longa duração, e por isso superam todos os outros métodos de hidrofugação.

Seu efeito hidrofugante ocorre imediatamente após a evaporação do solvente; 4 ou 5 horas após a aplicação já são sensíveis a eventuais chuvas.

No começo dos anos 70 apareceram resinas de silicone com grupos alquil (R-) longos, o que permitiu a hidrofugação de materiais de construção altamente alcalinos. Estes tipos formam o grupo de hidrofugantes de melhores características.

Estes compostos apresentam excelentes propriedades e grande facilidade de uso para a hidrofugação de fachadas, porque são à base de uma mistura de resinas de silicone que combina um elevado poder de penetração com uma elevada resistência aos álcalis, juntamente com um intenso efeito perlante e longa duração, uma vez aplicados.

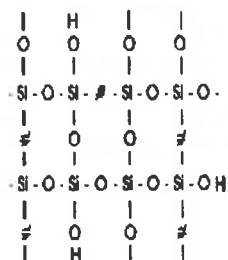



Figura 9.4.10. Resina de silicone. Os símbolos # representam grupos Si-Ó que formam a estrutura tridimensional.

Na aplicação é muito importante levar em conta que as superfícies sobre as quais serão aplicados os produtos têm de estar completamente secas.

As resinas de silicone podem ser aplicadas quantas vezes forem necessárias sobre superfícies já impregnadas, devido a que as resinas depositadas não têm nenhum efeito repelente frente aos solventes incorporados na formulação.

A Tabela 9.4.3 a seguir reúne as principais características dos hidrofugantes.

A *eficácia* e a *resistência alcalina* dos diferentes impregnantes hidrofugantes são determinados por um ensaio simples descrito a seguir.

Submergir corpos-de-prova de concreto previamente pesados durante um minuto no hidrofugante, deixar secar durante 8 dias à temperatura ambiente, e em seguida introduzi-los em uma solução de hidróxido de potássio a 10 %. A absorção de água é determinada pesando os cps e expressando o resultado em porcentagem do peso inicial seco.

Tabela 9.4.3. Principais características dos impregnantes hidrofugantes.

Denominação	Natureza do produto	Características
Silicone Base Água (Siliconatos)	Metilsiliconato Propilsiliconato de potássio	Sensíveis à alcalinidade Podem apresentar manchas brancas Baixa durabilidade (< 6 meses) Exigem substrato seco (anos 50)
Silicone Base Solvente (Resina de silicone)	Alquilpolisiloxanos Solventes orgânicos	Maior resistência à alcalinidade Exigem substrato seco (anos 60)
Silano Base solvente	Alcoxisilanos	Elevada penetração, moléculas menores Exigem substrato levemente úmido ou seco Muito voláteis, adequados para concretos compactos (anos 70)
Siloxano oligomérico base solvente	Alquilalcoxisiloxanos Oligoméricos Solventes Orgânicos	Elevada penetração, Exigem substrato levemente úmido Pouco voláteis (anos 70)
Siloxano polimérico base solvente	Alquilalcoxisilano Polimérico Solventes Orgânicos	Pequena penetração, moléculas grandes Exigem substrato seco Pouco voláteis (anos 80)

Na Tabela 9.4.4 são apresentados os resultados obtidos com vários impregnantes hidrofugantes.

Tabela 9.4.4. Resultados experimentais de eficácia e resistência alcalina.

Agente impregnante		Absorção de água, %		
		6 h	1 d	2 d
Resina de silicone	metílica	1,4	7,5	7,7
	INVISÍVEL	1,4	1,9	2,2
Silano (10 %)	Metil-trialcoxi	7,7	7,8	7,9
	Isobutil-trialcoxi	2,4	2,6	2,9
	Isoctil-trialcoxi	0,7	1,2	1,5
Siloxano oligomérico (10 %)	Metil-alcoxi	3,0	5,4	5,8
	Isooctil-alcoxi	0,8	1,2	1,5
Siloxano polimérico	Metil-fenil-alcoxi	1,6	6,7	7,9
Sem tratamento		6,7	6,8	6,9

Deduz-se dos valores contidos nesta tabela que:

- Os silanos metílicos não produzem nenhum efeito;
- o efeito hidrofugante aumenta com o comprimento dos grupos alquil empregados (R-);
- a ação hidrofugante dos silicones metílicos é eliminada pela alcalinidade do substrato;
- os silicones do tipo fenil ou metilfenil não têm boa resistência à alcalinidade;
- a eficácia do agente hidrofugante é tão maior quanto maior for o tamanho das moléculas do produto aplicado.

Preparo e Limpeza do substrato

A técnica de impregnação de um hidrofugante requer superfície limpa, capaz de absorver as soluções (de silanos, siloxanos etc.) que serão aplicadas. O objetivo é que os hidrofugantes sejam «aspirados» por capilaridade, para o que são requeridos poros capilares abertos.

É sempre aconselhável realizar testes prévios em trechos característicos da superfície que será protegida. As recomendações para o pré-tratamento das superfícies de concreto encontram-se detalhadas no Capítulo 5 «Procedimentos de Preparo e Limpeza do Substrato».

Freqüentemente é feito o preparo da superfície com jato de água sob alta pressão. A água de lavagem não deve em hipótese alguma conter

substâncias detergentes.

Após o preparo do substrato, devem ser iniciados os trabalhos rapidamente para evitar eventuais contaminações.

Um *teor de umidade adequado e uma rugosidade suficiente* do substrato são condições imprescindíveis para o êxito da proteção hidrofugante.

Se a aplicação do hidrofugante ocorrer imediatamente após um período de mau tempo (concreto úmido), corre-se o risco de que o agente ativo não penetre à profundidade suficiente. As resinas de silicone tendem a se acumular na superfície. O efeito líquido hidrorrepulsor resultante da formação de pequenas gotas na superfície, conhecido como «efeito perlante», faz crer equivocadamente que o impregnante hidrofugante foi aplicado com sucesso.

Deve-se deixar secar a superfície pelo menos durante 48 horas. Para a aplicação do hidrofugante, a superfície deverá encontrar-se seca, pelo menos visualmente, (de todo modo, devem ser observadas as especificações do fabricante). É preciso considerar que quanto mais seca estiver a superfície, tanto maior será a profundidade de impregnação do hidrofugante, e portanto sua durabilidade.

Outro aspecto a considerar é o cuidado de não provocar danos a outros materiais durante a aplicação dos produtos. Em particular, deverá ser feita a proteção dos materiais de selamento de juntas e revestimentos que possam ser danificados pelos solventes do produto utilizado. Por outro lado, deverá ser prestada atenção durante a aplicação para não danificar a vegetação circundante (molhagem prévia com água e cobertura da mesma). Os trabalhadores deverão usar indumentária adequada (máscaras, óculos de proteção, luvas, etc.). De todo modo, antes da aplicação deverá ser feito o reparo de fissuras, trincas e orifícios de abertura/diâmetro igual ou superior a 0,3 mm.

Métodos de aplicação

A fim de obter a vida útil máxima, a experiência demonstrou que a aplicação correta é tão importante quanto o preparo da superfície e a seleção correta do sistema de proteção.

Os impregnantes hidrofugantes são preferencialmente aplicados em superfícies verticais ou inclinadas. Não é recomendado o uso sob condições de pressão hidrostática permanente, e portanto não é recomendada a aplicação em superfícies horizontais.

Para sua aplicação não requerem superfícies lisas e contínuas.

Estes produtos podem ser aplicados por *pulverização*, *brocha* ou *rolo*. O ideal é fazer a aplicação com pulverizador costal sob pressão baixa, aplicando no mínimo duas demãos consecutivas «úmido sobre úmido», ou

seja, aplicar-se-á a segunda demão enquanto a primeira ainda estiver úmida, porém ainda não brilhante, saturando bem a superfície.

Trabalhar de cima para baixo, em superfícies previamente bem delimitadas, tomando o cuidado para que o bico do pulverizador fique a 10 a 15 cm de distância da superfície, evitando realizar trabalhos na iminência de chuvas.

Proteger da chuva no mínimo durante 24 horas, e não submeter as superfícies a ensaios de campo antes de 7 dias.

O rendimento depende da capacidade de absorção da base. Em materiais com poros ou fissuras com diâmetro/abertura acima de 0,3 mm, seu efeito se reduz significativamente ou pode até ser nulo.

Recomenda-se:

- Evitar aplicações por pulverização sob ação de vento;
- aplicar com a temperatura ambiente entre 10 ºC a 50 ºC;
- evitar pintar fachada que esteja recebendo radiação solar direta no momento da aplicação;
- não fazer a pintura de áreas externas em dias com umidade relativa superior a 90 %;
- iniciar o trabalho tão logo quanto possível após o preparo do substrato, para evitar eventual contaminação deste;
- quando usar método de pulverização, sobrepor as aplicações consecutivas em 50 %.

Os principais métodos de aplicação são detalhados a seguir:

1. Pulverização

Debido, normalmente, ao envolvimento de grandes áreas, os processos de pulverização são bastante adequados para a pintura do concreto. As propriedades físicas do produto são particularmente relevantes para este método de aplicação: materiais de viscosidade média e tixotrópicos são adequados para serem aplicados por pulverização.

a) Sistema Convencional

É o mais utilizado em função de sua versatilidade. São disponíveis vários tipos de pistolas e capas de mistura, que permitem um grande número de combinações para variados tipos de tinta.

Quando o líquido é mais denso, ou quando maior produção é exigida, a tinta é forçada até o bico sob pressão positiva exercida no recipiente por ar comprimido.

b) Sistema *Airless*

É o processo mais adequado para a aplicação de impregnantes hidrofugantes. A pulverização é feita pela oscilação da pressão hidráulica aplicada à tinta. O equipamento utilizado para a aplicação *airless* é menos complexo que o necessário para a aplicação com ar comprimido. A pistola é bem mais simples que a utilizada no sistema convencional. O bico determina o volume de produto que pode ser aplicado e o tamanho do leque. A aplicação é bastante rápida e envolve pouca mão-de-obra. Não é adequado para trabalhos pequenos.

2. Aplicação com Pincel (Trincha) ou Broxa

Geralmente é considerada uma boa prática a aplicação da primeira demão de tinta de *primer* (imprimação) utilizando pincel, de modo a poder colocar melhor a tinta dentro dos poros e irregularidades da superfície.

Pincéis curtos de seção retangular (de náilon) têm sido mais utilizados. O tamanho do pincel deve ser adaptado à extensão do serviço. O pincel de 10 cm (4") é considerado o tamanho máximo para uma boa pintura. Esta técnica é mais adequada para pequenas áreas.

3. Aplicação a Rolo

A aplicação a rolo é recomendada para superfícies planas e uniformes. Como vantagens do processo, pode-se citar a rapidez na aplicação e a facilidade de acesso em paredes e pisos.

Vida útil e reaplicação

Os hidrofugantes constituem um sistema complexo do qual formam parte:

- Os produtos para impregnação hidrofugante;
- as propriedades do substrato;
- a técnica de aplicação;
- os condicionantes do meio.

Isto, aliado à falta de estudos sistemáticos sobre o assunto, faz com que não seja possível fazer prognósticos confiáveis sobre a duração dos mesmos. Além disso, os dados da prática são contraditórios.

É aconselhável para cada caso fazer um prognóstico de vida útil baseado em experiências similares ao caso em apreço, para em seguida, a partir desse dado, programar ensaios para verificar a eficácia do tratamento, realizando reaplicações quando os ensaios assim o indicarem.

Em termos gerais deve-se pensar em reaplicações a cada 6 meses para hidrofugantes base água (siliconatos), e a cada 4 ou 5 anos, para hidrofugantes base solvente (resinas de silicones, silanos, siloxanos).

Em tais casos de manutenção preventiva, seria apropriada uma reaplicação do produto; quando a mesma não for realizada no tempo ou com a metodologia normal, e portanto for necessária uma manutenção corretiva, deverá ser então realizado antes o diagnóstico correspondente com a identificação das causas (Capítulo 2 «Orientação para o Diagnóstico»), a recuperação estrutural (Capítulo 6 «Procedimentos de Reparo»), e finalmente a proteção superficial do concreto.

É importante ressaltar que, em tratamentos aplicados sobre superfícies de concreto jovens, de menos de 6 meses, não é possível obter um bom desempenho de longa duração enquanto o processo de hidratação do cimento ainda estiver ocorrendo, formando-se superfícies novas não umedecidas pelos produtos hidrofugantes.

Ensaios

Este tipo de produto deve ter a qualidade controlada pelos ensaios descritos a seguir. Cabe mencionar que as normas seguintes são métodos de ensaio nos quais devem ser comparados materiais tratados com hidrofugantes com um material de referência sem tratamento.

A fim de se conseguir um balanço entre um baixo teor de umidade na parede e uma durabilidade de pelo menos 5 anos dos tratamentos, foram definidos os seguintes critérios:

- redução da absorção de água de no mínimo 70 % e idealmente o valor de 90 %.
- não reduzir a capacidade de difusão de vapor d'água do material tratado em mais de 10 %.
- possuir boa resistência à alcalinidade e aos raios UV, assim como uma boa aderência.

Ensaios para certificação dos produtos

Para todo tipo de impregnante hidrofugante:

- DIN 52617: Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade em materiais de construção. A redução da absorção a 24 horas de exposição com base na absorção do material de referência, sem tratamento, deverá ser de pelo menos 90 %.
- DIN 52103, método A, item 6.3.1: Determinação da absorção de água sob pressão (simula chuva com vento). A redução da absorção a 2 e 12 horas de exposição com base na absorção do material de referência, sem tratamento, deverá ser de pelo menos 70 %, idealmente 90 %.
- DIN 52615 ou equivalente: Determinação da permeabilidade ao vapor d'água de materiais de construção e isolamento. O tratamento não deve reduzir a capacidade de difusão de vapor d'água do material original em mais de 10 %.

- Resistência à alcalinidade. Sugere-se ensaiar conforme o método descrito na norma do Ministério de Transportes da Alemanha TP OS, Edição 1990, item 6.12. A determinação da absorção d'água às 24 horas deve apresentar uma redução de absorção de no mínimo 70 % e idealmente superior a 90 %.

Para hidrofugantes utilizados em regiões de neve:

- Resistência a ciclos de gelo-degelo-sais segundo a norma ISO/DIS 4846-2, com uma solução a 3 % de cloreto de cálcio em 30 ciclos, sob temperaturas entre – 20 ºC e + 20 ºC.

Outros ensaios

- Controle de qualidade no canteiro
- Os raios ultravioleta degradam os produtos hidrofugantes. Por esta razão, para serem completamente eficazes, estes produtos devem penetrar tanto quanto possível nos poros capilares. É a partir de uma profundidade de aproximadamente 0,2 mm que ficam protegidos da ação dos raios UV.
- Profundidade de Penetração
- Cerca de 20 a 30 minutos após a aplicação, deve-se remover um trecho de aproximadamente 1 cm de profundidade. As regiões molhadas pelo produto hidrofugante ou o solvente ficarão mais escuras.
- Procedimento para hidrofugante com pigmentos
- Se forem adicionados pigmentos ao produto hidrofugante, determinar a profundidade de penetração do pigmento em uma fissura, a qual equivale à profundidade de penetração do produto hidrofugante.
- Profundidade de impregnação
- Quatorze dias após a impregnação, remove-se um pouco do material em uma pequena área e limpa-se com água. A região hidrófuga fica mais clara.
- Ensaio com pipeta RILEM[1] (Ensaio de KARSTEN). Neste caso é também válida a pipeta Karsten ilustrada na Figura 9.4.11. Paralelamente, pode - se realizar uma prova aleatória com uma chuva artificial com água sob pressão de 0,13 psi (= 0,90 kPa), no mínimo durante 15 minutos.

Este ensaio foi proposto pelo pesquisador alemão KARSTEN, e foi aprovado pela RILEM para o controle da infiltração em paredes, assim como na Alemanha, para a avaliação no canteiro de tratamentos hidrorrepelentes.

Sua aplicação foi feita tanto em laboratório como no canteiro, com

[1]N.T.: Também conhecido como método do «cachimbo».

resultados aceitáveis, mesmo quando a literatura considera conveniente realizar numerosas medições.

Tal ensaio é usado para o controle de qualidade da obra, especialmente da qualidade das impermeabilizações.

Consiste no emprego de um dispositivo, que é aplicado contra a superfície vertical que se quer controlar durante um período de 10 minutos, mantendo uma coluna de água permanente de 10 cm de altura, medindo a quantidade de água que deve ser adicionada para obter esta condição.

Desta forma, o ensaio simula uma situação de chuva com uma pressão de vento equivalente a 140 km/h, o que corresponde a uma condição extremamente rigorosa.

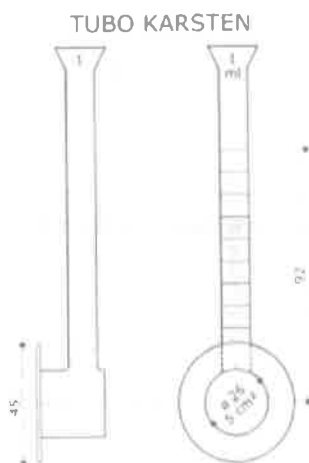



Figura 9.4.11. Ensaio de pipeta RILEM ou ensaio de KARSTEN.

Não obstante, dado que o que se deseja detectar é a existência de trechos com alta infiltração, é possível estudar formas de aplicação que correspondam a situações mais reais para o trecho onde se encontra a superfície que se deseja controlar.

O ensaio tem como principal limitação as pequenas dimensões da pipeta, o que conduz a medições localizadas, que não necessariamente representam a situação da obra inteira que se deseja controlar.

Por este motivo, estima-se que seu emprego deveria ser efetuado mediante um critério estatístico, em que são realizadas numerosas medições locais, avaliando-se tanto a média como a dispersão dos resultados obtidos para a qualificação do resultado obtido.

Estes critérios não foram desenvolvidos e, como no método ASTM E514, será necessário elaborar um programa de pesquisa para definir a

metodologia de ensaio e os critérios de aceitação e rejeição.

Isto torna também conveniente uma comparação com ensaios realizados em túnel de vento.

A absorção de água no concreto tratado com um hidrofugante apresenta valores variando de 0,02 a 0,2 kg/m² $(h)^{1/2}$.

9.4.3 Vernizes e Tintas formadores de película

Mecanismos de proteção

O mecanismo básico de proteção consiste na formação de uma película semiflexível e contínua, que age como barreira de baixa permeabilidade a gases, à água e ao vapor d'água, conforme ilustrado na Figura 9.4.12.

Estes produtos exigem substrato homogêneo e liso, com poros de abertura máxima de 0,1 mm. Acompanham pequenas movimentações estruturais; não são capazes de absorver eventuais fissuras da estrutura posteriores à sua execução.

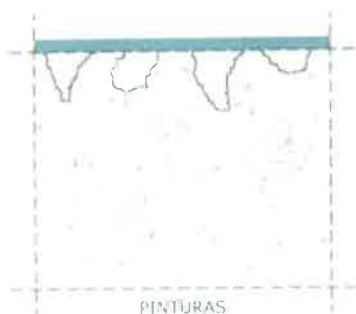



Figura 9.4.12. Mecanismo de proteção de vernizes e pinturas formadores de película.

A maioria dos produtos não é capaz de absorver eventuais fissuras posteriores da estrutura, ou seja, são capazes de cobrir uma fissura existente de até 0,1 mm, porém a película se rompe se a estrutura se fissura após a conclusão da pintura de proteção.

Características

As principais características são as seguintes:

- reduzem significativamente a carbonatação;
- reduzem significativamente a lixiviação;
- reduzem a permeabilidade aos sais solúveis;
- reduzem e inibem o desenvolvimento de fungos e bactérias;
- manutenção e repintura fácil e simples.

Limitações

- não permitem a secagem do concreto úmido; portanto, é preciso esperar que o substrato esteja seco para fazer a pintura.
- mesmo os vernizes incolores e foscos alteram o aspecto original do concreto conferindo brilho à superfície.
- requerem superfície uniforme e homogênea, não sendo portanto adequados para superfícies de concreto obtidas com fôrmas brutas. Dada esta limitação, em circunstâncias em que o substrato não apresentar superfície lisa e homogênea, é necessário realizar um tratamento prévio, o estucamento, para adequá-lo à pintura.

Natureza dos produtos disponíveis:

A Tabela 9.4.5 a seguir descreve a natureza dos produtos mais comumente usados como pintura de proteção, bem como sua aplicabilidade.

As pinturas de proteção classificam-se, conforme a natureza e característica do sistema de resina utilizado, em:

- Resinas alquídicas
  Não são apropriadas para substratos alcalinos ou superfícies muito lisas e pouco absorventes. Aconselha-se a aplicação, por seu alto poder de penetração, em substratos porosos tais como concretos desagregados, carbonatados e agregados essencialmente calcários, garantindo uma maior estabilidade com o tempo da pintura.
  A ampla gama de cores possíveis, assim como o brilho dos tons obtidos, aliados, sobretudo, a sua excelente penetração capilar, tornam estas pinturas recomendáveis nas *obras de recuperação* cujos elementos de argamassa e concreto sejam de idade elevada e com pH baixo.
- Resinas de estireno - butadieno, vinil - tolueno ou copolímeros acrílicos. São pinturas foscas baseadas em resinas acrílicas, estireno-butadieno, ou vinil - tolueno base solvente que apresentam uma grande aderência sobre superfícies degradadas de alta alcalinidade. Apresentam excelente impermeabilização frente à umidade exterior, permitindo a transpiração do elemento, assim como uma excelente resistência à formação de fungos.
- Resinas epóxi de dois componentes
  Sistema a partir de resinas epoxídicas de dois componentes em solução. Apresenta excelente dureza e boa resistência aos agentes químicos e à abrasão. Perdem o brilho e a intensidade com a ação dos raios UV, e portanto sua utilização para fins estéticos deve ser em função do restante de qualidades requeridas. Em fachadas, aconselha-se usá-las como primeira demão.
  As elevadas tensões ocasionadas por este tipo de pinturas podem ocasionar desprendimentos do substrato quando a resistência mecânica deste for insuficiente. Antes da aplicação, deve-se fazer

Tabela 9.4.5. Pinturas de Proteção[1]

Características do sistema de resina utilizado	Tipo de cura	Classificação da tinta quanto ao veículo	Espessura típica da película seca (mm)	Exemplos de aplicações convencionais
Acrílico	Simples evaporação do solvente	Base solvente	0,020 a 0,250	Pintura anticarbonatação, pintura de superfícies internas e externas, com razoável estabilidade de cor e resistência à fotodegradação.
Acrílico	Simples evaporação da água	Emulsionada em água	0,040 a 0,700 (dependendo da fórmula e aplicação)	Pintura anticarbonatação, pintura de superfícies internas e externas, com boa estabilidade de cor e resistência à fotodegradação.
Borracha clorada	Simples evaporação do solvente	Base solvente	0,100 a 0,300	Pintura anticarbonatação, boa resistência à abrasão, umidade e álcalis, pintura de pisos industriais, faixas demarcatórias e piscinas.
Epóxi bicomponente	Reação com o componente endurecedor	Base solvente	0,020 a 0,2500	Pisos industriais (boa resistência à abrasão) superfícies internas (elevada resistência química) e tanques de água potável.
Epóxi bicomponente	Reação com o componente endurecedor	Isenta de solventes	Acima de 0,300	Tanques para confinamento de produtos químicos, tubulações e superfícies internas sujeitas a ataque químico
Epóxi bicomponente	Reação com o componente endurecedor	Emulsionada em água	0,040 a 0,120	Pintura de áreas internas em indústrias alimentícias (não contamina alimentos nem exala odor), selamento de pisos industriais e superfícies internas.
Estireno-acrílico	Simples evaporação do solvente	Base solvente	0,020 a 0,200	Pintura anticarbonatação, pouca resistência à intempérie e à fotodegradação
Poliuretano alifático bicomponente	Reação com o componente endurecedor	Base solvente	0,025 a 0,075	Pintura anticarbonatação e pinturas internas ou externas de alta resistência química.
Poliuretano alifático bicomponente	Reação com a umidade atmosférica	Livre de solvente	0,500 a 2,000	Pintura de alta resistência à abrasão para pisos industriais
Poliuretano alifático bicomponente (alta espessura)	Reação com o componente endurecedor	Base solvente	0,125 a 0,150	Pinturas de pisos industriais acabamento antiderrapante e pintura de áreas internas e externas.
Sistema duplo epoxi-poliuretano	Reação com os componentes endurecedores	Base solvente	0,100 a 0,250	Pinturas de bom desempenho anticarbonatação e pinturas externas ou internas de alta resistência química.
Vinílica	Simples evaporação do solvente	Base solvente	0,025 a 0,070	Pinturas de alta resistência química, porém com baixa resistência a solventes.

uma análise detalhada das condições da superfície do concreto. Se esta for de poro fechado, antes da aplicação deve-se fazer a abertura dos poros do concreto mediante esfregamento, jato de areia ou queima controlada.

O filme resultante da aplicação forma o equivalente a uma barreira de vapor, o que implica permeabilidade zero e facilidade de secagem da superfície pintada, e portanto seu emprego deve realizar-se sobre substrato seco e deve ser evitada a umidificação posterior deste.

As resinas epóxi em solução aquosa apresentam suas propriedades de maneira notável frente às agressões de natureza química. Possuem caráter atóxico.

- Resinas de poliuretano de dois componentes

  Pinturas brilhantes, acetinadas e foscas, baseadas em resinas de poliuretano de dois componentes, que possuem pontos reativos em sua estrutura agindo como endurecedores, dando origem a polímeros reticulados, de excelente dureza e alta resistência química e mecânica.

  Apresentam propriedades ignífugas, efeitos fungicidas e produzem um efeito barreira eficaz frente aos gases ácidos. Possuem baixa adesão de sujeira. Devem ser aplicadas sobre substratos compactos e secos.

  Muito indicadas para a proteção do concreto na orla do mar, como em avenidas e locais marítimos.

- Borrachas cloradas e vinílicas base solvente

  Sistemas de pinturas geralmente semibrilhantes, de difusão fechada, resistentes à intempérie (perdem brilho), gases industriais, aos álcalis dos substratos minerais porosos e aos agentes químicos de natureza não orgânica.

  As boas propriedades de formação de película, baixa permeabilidade ao vapor d'água e rápido desprendimento de solvente, aliadas ao fato de não possuirem valor nutriente e portanto não serem degradadas pelo ataque biológico nem promoverem o crescimento de mofo, as tornam apropriadas como revestimentos decorativos e de proteção.

  Exigem aplicação cuidadosa específica; devem ser aplicadas sobre substratos perfeitamente secos. Os concretos deverão ter idade mínima de 1 mês. Antes da aplicação, recomenda-se tratar a superfície com ácido diluído a 10 %. O tempo de secagem deverá ser prolongado por no mínimo 7 dias.

- Resinas vinílicas

As resinas mais apropriadas para o concreto são pinturas cujo veículo seja formado por resinas plásticas emulsionadas, neste caso de caráter vinílico, dispersas em água.

Apresentam boa durabilidade sobre suportes fracamente alcalinos ou ligeiramente ácidos.

Devido a sua intolerância e mau comportamento frente a concretos não carbonatados, costumam-se fabricar combinadas com acrílicos, gerando uma variedade muito grande de pinturas plásticas.

De difusão aberta, por seu rendimento, cobrimento e penetração de água, são apropriadas para a pintura e manutenção de superfícies não submetidas a altas exigências de qualquer natureza.

- Resinas acrílicas

  Constituem um sistema de pinturas de poro aberto baseadas em copolímeros acrílicos que admitem a incorporação de uma diversidade de cargas em função dos requisitos solicitados, constituindo o grupo de pinturas plásticas e látex de uso mais extensivo.

  As mais adequadas para o concreto são os acrilatos, que são incorporados à mistura em solução aquosa, obtendo maior aderência que os acrilatos adicionados na forma de dispersão aquosa.

Preparo e Limpeza do substrato

O substrato tem influência fundamental na durabilidade dos sistemas de proteção das superfícies. O concreto, por sua rugosidade e porosidade natural, é um bom substrato que permite uma rápida absorção da umidade da primeira capa das tintas ou vernizes. Os procedimentos de preparo e limpeza são descritos com detalhe no Capítulo 5 «Procedimentos de Limpeza e Preparo do Substrato», sendo mencionados nos parágrafos seguintes alguns deles.

Para obter uma *boa aderência*, é necessário que a superfície do concreto:

- Esteja íntegra, limpa, resistente e livre de contaminação de produtos para cura rápida, agentes desmoldantes, na maioria incolores, mas que causam falta de uniformidade de cor e prejudicam a aderência com a pintura.
- esteja isenta de anomalias tais como fissuras, bicheiras e ninhos de concretagem, desprendimentos, corrosão de armaduras, eflorescências, etc., presentes no concreto. As anomalias devem ser reparadas antes da aplicação dos produtos de proteção;
- não possua arestas vivas;
- apresente rugosidade e porosidade apropriadas para o revestimento que será aplicado;

- esteja seca.

Os trabalhos prévios à aplicação da tinta ou verniz deverão estar contidos nos *procedimentos de verificação da adequabilidade do substrato* e nos *procedimentos de limpeza e preparo* da superfície, a fim de obter-se um nível adequado de estabilidade dimensional e química do substrato, que garanta condições aceitáveis de pintura e vida útil.

Procedimentos de verificação da adequabilidade do substrato

- Determinação do valor do pH das superfícies de concreto tratadas com ácido ou limpadas com produtos químicos para a pintura[1];
- determinação da presença de umidade no concreto antes de sua pintura. Médoto da Lâmina Plástica[2].

Requisitos específicos do concreto:

- Alcalinidade

  Superfícies com valor de pH superior a 9 exigirão imprimação com pinturas resistentes a álcalis.

- Textura superficial:

  É conseqüência da composição de seus elementos constituintes, tipo de fôrmas e tratamento da superfície. Existem dois tipos de textura:

  Poro fechado: os concretos compactos, com fôrmas lisas e estanques e de estrutura capilar muito fechada exigirão o uso de pinturas com alta aderência ou a abertura superficial dos poros mediante tratamentos químicos ou mecânicos. Quando a lisura é devida à pele de cimento do acabamento, esta deverá ser eliminada e ser aplicada uma pintura epóxi ou de borracha clorada.

  Concreto celular: seja devido às características de sua produção ou por tratar-se de superfícies friáveis pela ação do tempo, os concretos altamente porosos exigirão pinturas com alto poder de consolidação, fixação e penetrabilidade. Freqüentemente, a existência de segregações e ninhos de concretagem exigirão o reparo antes da pintura mediante a aplicação de um estucamento regularizador.

- Agentes externos: umidade e intemperismo.

  As condições de impermeabilidade do substrato e as do meio ambiente a que a pintura será submetida são determinantes para a seleção de um sistema de difusão fechado ou aberto, devendo-se impedir ou reduzir ao mínimo as infiltrações de água por ascensão capilar ou a aparição destas na superfície interna do elemento.

A limpeza das superfícies de concreto[1] é realizada a fim de eliminar graxa, sujeira e substâncias soltas antes da aplicação de revestimentos. Não se pretende alterar o perfil da superfície do concreto, mas apenas fazer sua limpeza. É necessário, portanto, o conhecimento detalhado dos diferentes procedimentos de limpeza (ver Capítulo 5 «Procedimentos de Preparo e Limpeza do Substrato»).

Alguns métodos, como a *limpeza por escovamento, o jato de ar* e o *jato de vapor*, entre outros, não são suficientes para a aplicação de sistemas protetores que devam resistir a condições de imersão permanentes ou intermitentes e a exigências mecânicas elevadas, ou para sistemas protetores que exijam máxima aderência para proporcionar resultados satisfatórios[9].

Cura

Os sistemas de proteção, por serem compostos de capas muito finas, necessitam de proteção contra a radiação solar direta e do vento. É necessário ainda tomar medidas adicionais para manter estas capas úmidas durante o tempo necessário conforme o tipo de proteção a utilizar (sobretudo com materiais de base cimento, sendo importante, no caso das películas sintéticas, protegê-las do pó).

Métodos de aplicação

A aplicação da pintura de proteção é tão importante quanto o preparo da superfície e a correta seleção do sistema a empregar. Todas as pinturas apresentam uma separação entre os componentes mais pesados dos mais leves, e portanto muitos pigmentos podem sedimentar-se.

Para uma correta aplicação e durabilidade dos sistemas de proteção, é fundamental que o produto seja homogêneo, sendo necessária, em alguns casos, a utilização de misturadores mecânicos.

Recomenda-se:

- Escolher o método de aplicação mais adequado às características da obra e suas dimensões e projeto;
- executar a pintura preferencialmente com a temperatura ambiente variando entre 10 °C e 35 °C;
- evitar pintar fachada que esteja recebendo radiação solar direta na hora da aplicação;
- não efetuar pintura de áreas externas em dias muito úmidos (com umidade relativa superior a 90 %);
- iniciar o trabalho de pintura tão logo quanto possível após o preparo do substrato, para evitar eventuais contaminações deste.
- O número de demãos de pintura será o fixado pelo fabricante ou projetista, baseando-se nas características da pintura e a obtenção

da espessura mínima necessária para atingir os requisitos exigidos. Em geral, serão necessárias um mínimo de três demãos: uma primeira demão de imprimação, uma segunda ou intermediária e o demão de acabamento.

Os principais métodos de aplicação utilizados são:

1. Pulverização:

É um método utilizado para aplicação de pinturas em grandes áreas. As propriedades físicas do produto são particularmente relevantes para este método de aplicação: são adequados os materiais de viscosidade média e tixotrópicos.

Sobre o concreto são utilizados os seguintes métodos de pulverização:

a) Sistema Convencional: é o mais utilizado em função de sua versatilidade. Estão disponíveis vários tipos de pistolas e misturas, permitindo um grande número de combinações para variados tipos de pintura. Quando o líquido é mais denso ou quando se exige maior produção, a pintura é forçada até a saída por uma pressão positiva exercida no recipiente pelo ar comprimido. Viscosidade baixa e capas finas.

b) *Airless*: é o mais adequado para aplicação de hidrofugantes. Favorece a ancoragem, é rápido e demanda pouca mão-de-obra. A pulverização é obtida pela oscilação da pressão hidráulica aplicada à pintura. Não é adequada para pequenos trabalhos (alta produtividade).

2. Pincel (Trincha):

É um bom método para a aplicação da primeira demão de imprimação (*primer*) porque força a pintura para dentro dos poros e das irregularidades da superfície.

É uma técnica adequada para superfícies de pouca extensão.

3. Rolo:

É recomendado para superfícies planas uniformes. Como vantagens do processo pode-se citar a facilidade de aplicação.

Vida útil e Reaplicação

Os serviços de manutenção do concreto podem fazer parte de um programa de manutenção *preventiva* ou de um programa de manutenção *corretiva*[1].

Para estimar a vida útil dos sistemas de pinturas de proteção, pode-se

consultar a literatura disponível ou observar obras similares que estejam nas mesmas condições de exposição. De qualquer forma, é sabido que os sistemas de proteção possuem uma vida útil relativamente curta quando comparada com a da estrutura (50 anos), devendo ser periodicamente inspecionados para verificar a necessidade de manutenção, a fim de manter sua funcionalidade.

De maneira geral, é conveniente a *repintura preventiva* para:

- Tintas base água, a cada 2 ou 3 anos;
- tintas base solvente, a cada 4 anos;
- sistemas duplos, a cada 6 ou 7 anos.

No caso de *manutenção corretiva*, os trabalhos de manutenção são típicos de correção de manifestações patológicas, ou seja, há necessidade de um diagnóstico prévio do problema para a identificação das causas, e conseqüentemente proceder à proteção do concreto.

A durabilidade da proteção dependerá fundamentalmente de:

- um bom preparo da superfície;
- adequabilidade de uso;
- controle de qualidade na fabricação[11];
- controle de qualidade na aplicação.

Ensaios

Os ensaios de aderência, dureza, alongamento, resistência à tração, dosagem, brilho e espessuras, todos eles normalizados, deverão ser realizados constantemente durante a execução dos trabalhos de proteção segundo norma específica aplicável.

9.4.4 Sistemas Combinados de Proteção ou Sistemas Duplos

Figura 9.4.13. Mecanismo de proteção dos sistemas combinados ou «sistemas duplos».

Nestes sistemas, são combinadas as vantagens dos produtos hidrofugantes com os formadores de película (impermeabilizantes), conforme a Figura 9.4.13.

Testes comparativos demonstraram que este tipo de sistemas oferece uma melhor proteção que os sistemas convencionais, em ambientes de elevada agressividade.

Para conferir também elevada proteção química ao concreto e resistência à fotodegradação em superfícies externas em atmosferas industriais, foram desenvolvidos sistemas duplos constituídos por:

- *primer* de resina epóxi + poliuretano disperso em solvente.
- *primer* de silano-siloxano (hidrófugo de superfície) + demão de acabamento em acrílico (metacrilato de metila) disperso em solvente.

Nos casos em que o pH do concreto é superior a 9, utiliza-se um sistema de proteção duplo constituído por:

- Uma demão de imprimação (primer) com ***resinas de base acrílica***, (ou estireno - butadieno, ou ainda o vinil-tolueno) + uma capa de acabamento com ***resina alquídica***.

9.4.5 Orientação para a seleção do sistema

A Tabela 9.4.6 apresenta os materiais disponíveis para a proteção de superficies de concreto.

Tabela 9.4.6. Orientação para a seleção do produto e sistema de proteção (HELENE, 1997).

Material	Principais características	Aplicação
Argamassa Polimérica	Tixotrópica Espessura de até 3 mm Não retrátil Baixíssima permeabilidade e difusividade Exige substrato úmido	Revestimentos e acabamentos superficiais em estruturas de concreto
Adesivo base acrílica	Exige substrato úmido Alta aderência ao concreto Diminui a permeabilidade e difusividade das argamassas Resistente à umidade	Aditivo para pastas de estucamento
Hidrofugante	Elevada penetração no substrato Baixíssima viscosidade Tratamento permanente à base de silano/siloxano. Reduz a penetração de cloretos	Hidrofugante para uso em superfícies de concreto, alvenaria e pedras ornamentais naturais. Concreto aparente.
Verniz base acrílica	Elevada aderência ao substrato Reduz a penetração de CO_2 e a lixiviação causada pela água	Verniz formador de película para a proteção superficial do concreto e alvenaria. Concreto aparente.
Tinta base acrílica	Elevada aderência ao substrato Impede a penetração de CO_2 e a lixiviação causada pela água Pigmentada	Pintura formadora de película para proteção superficial de concreto e alvenaria. Concreto aparente.
Tinta base epóxi dispersa em solvente	Elevada aderência ao substrato Elevada resistência química	Pintura formadora de película para proteção superficial em geral Evitar exteriores.
Tinta base epóxi dispersa em água	Elevada aderência ao substrato Elevada resistência química Não tóxica	Pintura formadora de película para proteção superficial em geral Evitar exteriores.
Tinta (de alta espessura) base epóxica	Elevada aderência ao substrato Altíssima resistência química Boa resistência à abrasão	Especialmente desenvolvida para a proteção de tanques e canaletas sujeitos a ataque químico severo.
Tinta base poliuretano	Elevada aderência ao substrato Elevada resistência química Resistencia à fotodegradação	Pintura formadora de película para proteção superficial em geral
Pintura antipichação	Elevada aderência ao substrato Resistencia à fotodegradação Totalmente impermeável a qualquer outro tipo de pintura. Fácil remoção de pichações mediante o uso de removedor.	Para proteção de muros e fachadas sujeitos a pichações. Proteção para superfícies de concreto em atmosferas urbanas e marinhas, ricas em CO2, SO_2 e CL^-.
Sistema duplo base silano/siloxano e acrílico	Elevada penetração e aderência ao substrato Impede a penetração de Cl^- e CO_2 ao mesmo tempo que permite a saída do vapor d'água existente no concreto.	Sistema de proteção para superfícies de concreto em atmosferas industriais, urbanas e marinhas, ricas em CO_2, SO_2 e Cl- Concreto aparente.
Sistema duplo base epóxi e poliuretano	Elevada penetração e aderência ao substrato Elevada resistência química Resistente à fotodegradação	Sistema de proteção para superfícies de concreto em atmosferas de alta agressividade química. Exterior e interior
Revestimentos especiais	Elevada penetração e aderência ao substrato Elevada resistência química	Proteção de tanques, canaletas, pisos e estruturas de concreto ou metálicas em contato direto com produtos químicos agressivos.

9.5 Principais Manifestações Patológicas nos Sistemas de Proteção

As principais causas de manifestações patológicas nos *sistemas de pinturas de proteção* são as seguintes:

- Seleção inadequada do produto;
- condições metereológicas diferentes das previstas;
- tratamento inadequado do substrato;
- Aplicação incorreta do sistema;
- diluição excessiva da formulação;
- demãos insuficientes;
- má qualidade da formulação do produto, que não corresponde às especificações.

As principais manifestações patológicas que ocorrem em pinturas sobre o concreto estão descritas na Tabela 9.5.1 e ilustradas na Figura 9.5.1.

Tabela 9.5.1. Principais manifestações patológicas dos Sistemas de Proteção do Concreto

Manifestações patológicas	Causa mais provável	Período mais provável de aparecimento	Procedimento de correção
Eflorescência	Substrato úmido, Agua de infiltração	1 mês ou a qualquer momento	Remover a pintura, eliminar a causa da infiltração e secar o substrato antes de repintar
Saponificação	Substrato muito alcalino	1 a 6 meses	Remover a pintura, aplicar lavagem com solução ácida e repintar
Escorridos e manchas	Água de chuva	1 dia	Lavar a tinta ou verniz; repintar, se necessário.
Bolhas	Substrato úmido; Osmose, Água de Infiltração	1 a 2 meses	Remover a pintura, eliminar a causa da infiltração e secar o substrato antes de repintar.
Desagregação e descascamento	Intempéries; Substrato com ausência de cura	A qualquer momento ou dentro de 1 mês	Corrigir a formulação do produto Remover a pintura, aplicar solução de metassilicato de sódio e repintar.
Descoloração e/ou perda de brilho	Ação ultravioleta	6 meses	Corrigir a formulação do produto
Destacamento	Excesso de diluição Má preparação do substrato	2 meses	Eliminar a causa do problema e preparar adequadamente o substrato antes de repintar
Fungos	Umidade elevada Ausência de fungicida na formulação	2 meses	Eliminar a causa da umidade e corrigir a formulação do produto

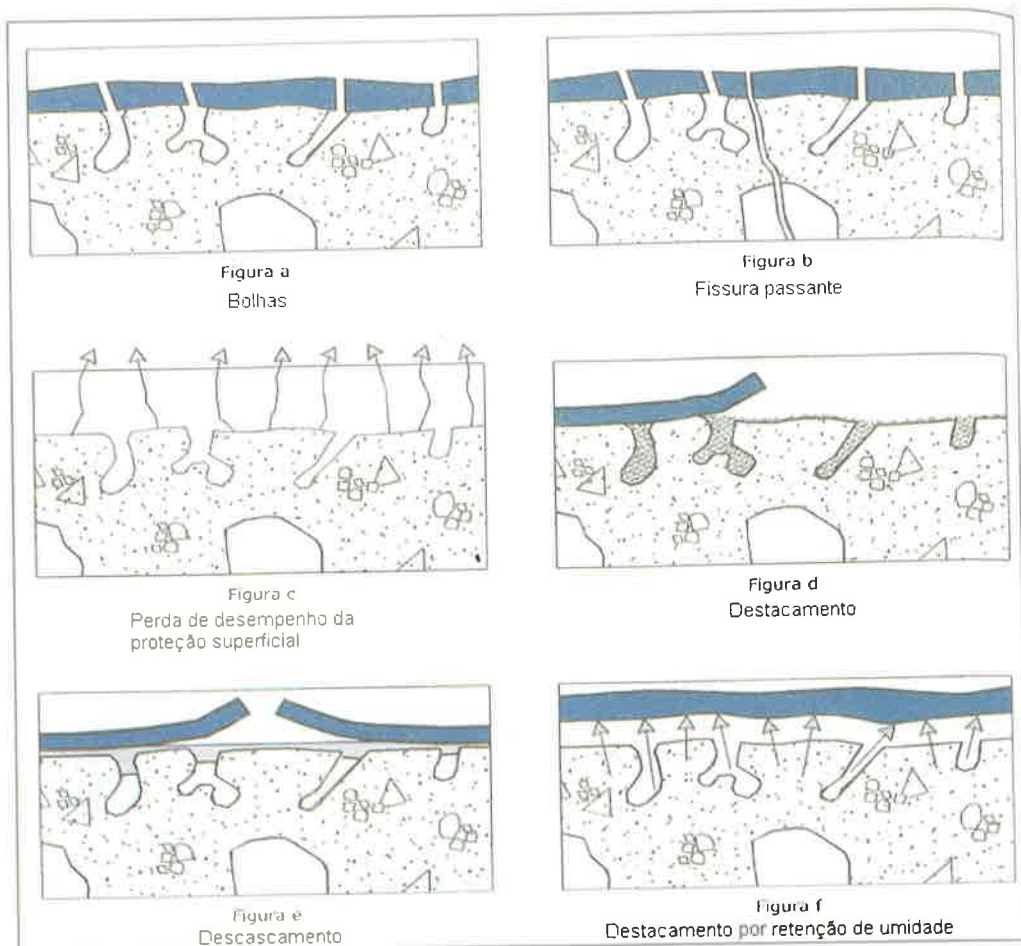



Figura 9.5.1. Principais manifestações patológicas em pinturas (EMMONS, P. 1994).

9.6 Sistemas de Proteção para Pisos de Concreto

9.6.1 Considerações gerais

Os pisos industriais de concreto devem ser considerados como um *sistema* que deve satisfazer não apenas os requisitos próprios de todo pavimento, mas também deve ser adequado para o trânsito de bens e pessoas, e deve satisfazer os requisitos específicos do uso particular para o qual está sendo considerado, dependendo do tipo de indústria e do setor a que pertença.

No começo deste capítulo observamos que «toda obra de Engenharia ou Arquitetura pode ser considerada como um sistema de maior ou menor complexidade criado para satisfazer um conjunto de necessidades» e que «a exposição dos componentes e/ou subsistemas que a integram aos

diferentes agentes de degradação produzirá deterioração e queda de desempenho». No caso de pisos, é preciso considerar, então, um conjunto de requisitos mais comuns a serem satisfeitos, incluindo estimativas de cargas que normalmente agem sobre os componentes.

Desprezar as particularidades de uso pode levar à redução significativa da vida útil do pavimento. Por outro lado, seja porque o piso pode-se desgastar de forma prematura, seja porque o mesmo pode-se contaminar por óleos, sais, ácidos ou outros produtos químicos que podem penetrar nos poros do concreto, a equação da economia na Indústria será afetada *ao aumentarem, por um lado, os custos de produção* - serviços de manutenção e/ou recuperação mais freqüentes de pisos, máquinas e/ou ferramentas afetados pelo pó - e, *por outro lado, ao diminuir o volume da produção* aumentando os tempos improdutivos.

Uma superfície deteriorada ou mal acabada deve ser ***corrigida*** para recuperar suas propriedades, e ***protegida*** para que mantenha por mais tempo essas propriedades.

A seleção do sistema de proteção do piso não é tarefa fácil, pois não apenas devem ser levados em conta os *requisitos* a que o piso estará submetido, mas também é preciso conhecer e considerar o *estado atual* (condição) do solo, que será objeto de aprimoramento, e *os recursos disponíveis* para as tarefas a empreender, conforme apresentado na Figura 9.6.1.

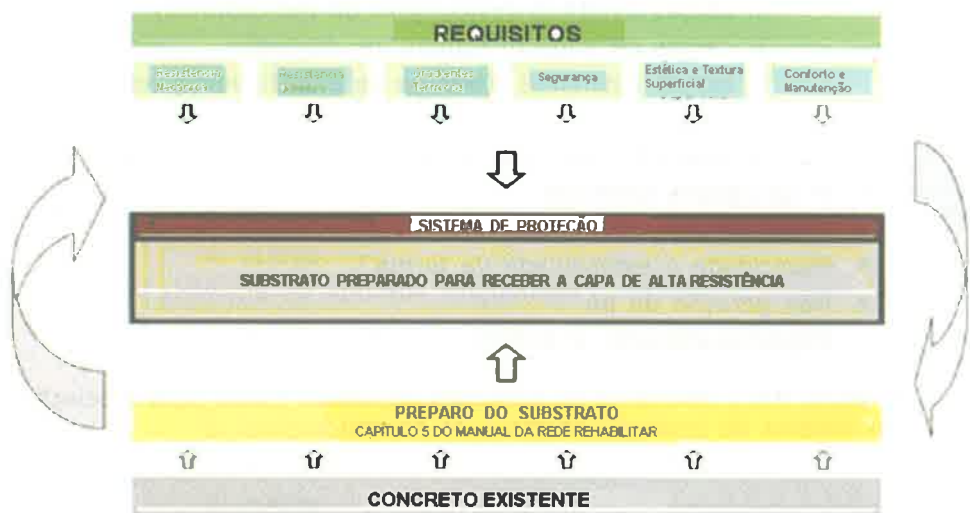



Figura 9.6.1. Seleção do sistema de proteção [10].

---

[1]N.T.: Às vezes, piso e pavimento são usados como sinônimos, porém pode-se distinguir basicamente o pavimento como a base ou estrutura e o piso como o RAD ou proteção superficial.

O pavimento, como superfície plana, compõe-se de:

- Subleito, terreno natural preparado;
- Sub-base, camada de material que pode ser granular ou estabilizada com cimento;
- Estrutura do pavimento ou base que recebe as diferentes cargas;
- Piso[1] (RAD-Revestimento de Alto Desempenho, acabamento ou capa de desgaste) adequado aos requisitos próprios da indústria.

O projeto do piso é um processo crítico que pode ser a causa básica do sucesso ou fracasso na fase de sua execução.

Vamos nos referir neste ponto aos sistemas de proteção de pisos de concreto, sem esquecer que o desempenho dos mesmos será limitado pelas qualidades do substrato sobre o qual são aplicados.

Requisitos

A seguir, são enumerados os principais requisitos, propriedades e condições a serem considerados nas etapas de projeto, construção e uso dos pavimentos de concreto (ver Tabelas 9.6.1 e 9.6.2).

Requisitos físicos

- Resistência mecânica
    1. cargas estáticas (estocagem de mercadorias)
    2. cargas de impacto (queda de objetos)
    3. cargas dinâmicas (tráfego de empilhadeiras, etc)
    4. abrasão
    5. ação de choques térmicos
- Propriedades térmicas
- Propriedades acústicas
- Planicidade e estabilidade de forma
- Não geração de pó
- Impermeabilidade, e outros

A Tabela 9.6.1 apresenta os principais requisitos físicos para a seleção de um sistema de proteção de pisos de concreto.

---

[1]N.T.: Sugere-se também a consulta à norma NBR 14050/1998: Sistemas de revestimentos de alto desempenho à base de resinas epoxídicas e agregados minerais - Projeto, execução e avaliação do desempenho.

Tabela 9.6.1. Principais requisitos físicos de pisos[1].

Segmentos de Aplicação	Usos	Carga total (kN)
Escolas. Escritórios. Hospitais.	Pedestres. Veículos de manutenção.	3
Áreas comerciais e galerias (exceto áreas de estocagem)	Veículos de turismo. Camionetas (ocasionalmente). Elevadores de carga (com rodas de borracha)	24 30 24
Estacionamentos, Aeroportos. Locais de circulação intensa de pedestres.	Camionetas e elevadores de carga com rodas. Caminhões (ocasionalmente). Grandes cargas (ocasionalmente)	35 60 300
Áreas de estocagem. Locais para alimentação.	Caminhões e elevadores de carga. Caminhões. Grandes cargas. Grandes cargas (ocasionalmente) Empilhadeiras com rodas rígidas por mm de largura de rodagem.	70 90 300 600 0,12

Requisitos químicos

- Resistência a
    1. produtos químicos (ácidos, bases, etc)
    2. intemperismo (Resistência aos raios UV, etc.)
- Outros

Requisitos construtivos

- Características da «infra-estrutura»
    1. resistência da capa portante
    2. composição da capa portante
    3. presença de umidade
    4. outros
- Existência de «pontos singulares»
    1. juntas (distância máxima entre elas, tipos de movimentos, etc)
    2. drenos
    3. bordas
    4. obstáculos
    5. outros
- Condições de execução
    1. tecnologia disponível
    2. capacitação da mão-de-obra
- prazos de liberação para o uso
- instalações

- outros

Requisitos de manutenção

- facilidade de limpeza
- caimentos
- risco de empoçamentos no caso de limpeza úmida
- possibilidade de limpeza
- selamento superficial.
- outros

Outros requisitos

- estética
- segurança
- propriedades antiderrapantes
- propriedades *elétricas*.

Tabela 9.6.2. Principais propriedades dos pavimentos.

1. Condições de construção	2. Propriedades físicas
1.1 Infra-estrutura: - Coesão do subsolo - Capacidade de suporte do subsolo - Camada contra o congelamento - Espessura - Composição granulométrica - Compactação **1.2 Impermeabilização (barreiras):** - Barreira à difusão do vapor d'água - Contra a umidade do solo - Contra água sem pressão - Contra água com pressão **1.3 Cálculo da capa portante (estrutura):** - Armadura do concreto - Espessura - Peso próprio **1.4 Composição da capa portante:** - Curva granulométrica dos agregados - Procedência dos agregados - Estrutura granular dos agregados - Teor de aglomerante - Relação água/cimento - Adensamento **1.5 Juntas de edifícios e juntas de construção:** - Necessidade de juntas - Abertura da junta - Proteção de borda - Ocorrência de fissuras - Coeficiente de retração - Dilatação térmica **1.6 Condições de produção:** - Temperatura de produção - Necessidade de ponte de aderência - Risco de explosão ao contato - Risco de explosão no selamento **1.7 Prazo para uso:** - Prazo para liberação ao tráfego de pedestre - Prazo para tratamento da superfície - Prazo para capacidade de uso pleno - Prazo para liberação a tráfego de veículo **1.8 Instalação:** - Possibilidades de instalação - Canais **1.9 Outros:** -Possibilidade de assessoria **3. Propriedades químicas**	**2.1 Propriedades mecânicas:** - Dureza - Resistência à compressão - Resistência à tração na flexão - Profundidade de impressão (pisada) - Elasticidade - Deformação por compressão - Flexibilidade - Resistência a impacto - Resistência ao cortante **2.2 Desgaste (proteção antidesgaste):** - Abrasão - Espessura da capa de desgaste - Resistência a danos mecânicos **2.3 Propriedades termicas (isolamento térmico):** - Condutibilidade térmica - Coeficiente de difusão de calor - Isolamento térmico **2.4 Propriedades acústicas (proteção anti-ruído):** - Amortização do ruído aéreo - Isolamento acústico ao ruído de choques ou pisadas - Absorção sonora - Insonorização interna (em caso de impacto) **2.5 Propriedades elétricas:** - Capacidade isolante elétrica - Capacidade de derivação para cargas eletrostáticas - Rigidez elétrica - Resistência a correntes de fuga - Resistencia específica volumétrica - Resistencia superficial - Constante dielétrica **2.6 Planicidade e estabilidade de forma:** - Estabilidade dimensional - Tolerância superficial - Estabilidade de forma **2.7 Propriedades antiderrapantes:** - Medição - Desgaste - Recuperação **2.8 Desprendimento de pó** **2.9 Outros:** - Formação de faíscas - Aderência

3.1 Resistência à temperatura:
- Resistência ao calor
- Resistência ao frio
- Fragilidade (temperatura de transição vítrea)
- Resistência a variações de temperatura

3.2 Resistência ao fogo:
- Inflamabilidade
- Propagação de incêndio
- Resistência à combustão lenta sem chama (cigarros)
- Temperatura de inflamação
- Temperatura de combustão
- Produtos seqüenciais nocivos em caso de incêndio
- Formação de fumaça

3.3 Resistencia a agentes químicos:
- Resistencia à água
- Capacidade de absorção de água (inchamento)
- Resistência a óleos minerais
- Ácidos
- Lixívia
- Solventes orgânicos
- Outros

3.4 Resistência ao clima e ao envelhecimento:
- Solos ao ar livre
- Solidez à luz
- Calcinação
- Resistência à geada e neve (ciclo de gelo-degelo)

3.5 Outros:
- Ação bactericida
- Propriedades fisiológicas (produtos alimentícios)
- Odor
- Possibilidade de coloração
- Possibilidade de coloração

4. Propriedades de manutenção

4.1 Facilidade de sujar-se

4.2 Rampas e declividades

4.3 Risco de empoçamento em caso de limpeza úmida

4.4 Possibilidade de limpeza:
- Manual
- Mecânica
- Limpeza úmida
- Limpeza a seco
- Limpeza no molhado

4.5 Selamento superficial

5. Análise de custo-utilidade (análise de viabilidade)

5.1 Custo:
- Capital ligado ao custo de construção
- Redução de custos em caso de superfícies de grandes dimensões

5.2 Custo de exploração do negócio

5.3 Segurança no trabalho:
- Propensão a acidentes

5.4 Possibilidade de reparo

5.5 Saneamento

5.6 Outros:
- Segurança na fabricação
- Objetos de referência e consulta
- Freqüência de reclamações
- Garantias e avais
- Superfície mínima a instalar

6. Normas e bibliografia
- Normas
- Selo de conformidade
- Diretrizes
- Bibliografia

Substrato- Concreto existente

Por outro lado, após considerar os requisitos a que o pavimento vai estar submetido, veremos qual é o sistema mais adequado para satisfazer os requisitos definidos, em função das características do concreto existente.

Não devemos nos esquecer de que o primeiro limitante para um pavimento é o substrato sobre o qual ele é aplicado.

O sistema de proteção pode agir monoliticamente com o mesmo ao penetrar em seus poros e ligar-se fortemente a ele ou formando ainda uma capa sobre o mesmo.

Neste sentido, entre os diferentes tratamentos para um piso[10], devemos distinguir:

- Impregnação com endurecedores superficiais.
- Pintura superficial.
- Impregnação e pintura.
- Revestimento argamassado.

9.6.2 Impregnação com endurecedores superficiais

Podemos definir a *impregnação* de pisos como o preenchimento parcial dos poros com material sintético[1].

Para ser eficaz, é de importância decisiva ver até que ponto pode penetrar em profundidade nos poros e até que grau de preenchimento dos poros na estrutura é obtido.

A impregnação pode reduzir em até 80 % o desgaste superficial, sendo que havendo novo desgaste, volta a aparecer a formação de pó, em menor grau que o de uma superfície que nunca foi impregnada, já que, por efeito de distribuição de cargas, a resistência mecânica da estrutura de concreto foi reforçada pela impregnação até certa profundidade, conforme ilustra a Figura 9.6.2. Este aumento de resistência mecânica também é gerado pelo selamento com pintura superficial de média espessura, com pintura de alta espessura, ou com a aplicação de revestimento argamassado, sendo proporcional à espessura de cada um deles.

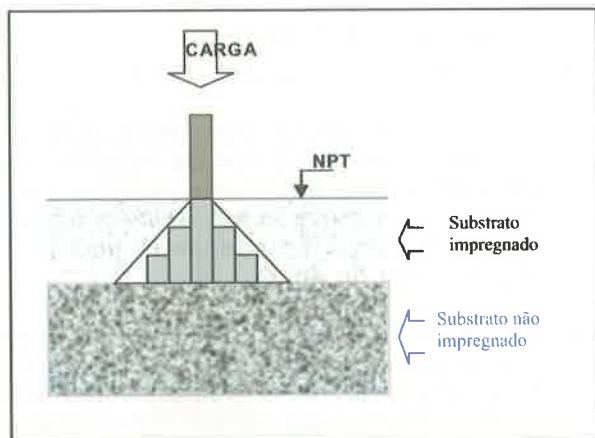



Figura 9.6.2. Mecanismo de proteção do impregnante, aumento da resistência superficial do concreto. Efeito de distribuição de cargas.

---

[1]N.T.: Este é o processo de silicatação tratado no item 4.7, do Capítulo 4 deste livro.

No *processo de penetração* estão envolvidos os seguintes aspectos:

1. qualidade do concreto;
2. teor e tipo de poros;
3. curva de distribuição granulométrica dos agregados;
4. conservação da umidade da superfície durante o endurecimento;
5. tipo de impregnação;
6. tamanho de moléculas do aglomerante;
7. viscosidade do impregnante;
8. tipo de solvente;
9. temperatura.

Qualidade do concreto

A compactação com acabadoras mecânicas («helicópteros» ou «bambolês») e um tratamento a vácuo do concreto poderiam também ter certa importância, já que mediante estes tratamentos poder-se-ia modificar a qualidade do concreto na superfície.

Teor e tipo de poros

A porosidade do concreto pode ter múltiplas origens, como a seguir:

- poros contidos nos agregados;
- poros entre os agregados e a pasta de cimento endurecida;
- poros capilares na matriz de cimento;
- microporos na matriz de cimento;
- poros resultantes do ar introduzido na mistura durante a fabricação.

Os poros do concreto são de especial importância, pois são os que admitem o material impregnante e afetam a relação substrato-material. *Os poros de ar* (diâmetro 0,1 até 3 mm) dificilmente podem ser preenchidos se o ar não escapar, e da mesma maneira *poros capilares* de diâmetro 0,001 mm não serão preenchidos com o impregnante, pois por efeito capilar é produzida a retenção física da água.

Os impregnantes podem penetrar até 7 mm ou mais conforme sua viscosidade. Uma impregnação de 50 % desaparecerá por completo na base, enquanto que outra de 70 % produzirá uma solidificação intensa na superfície. Em nenhum caso devem ser misturadas substâncias corantes com o líquido impregnante, já que os pigmentos dificultariam ou impediriam a penetração nos poros do concreto.

A melhora no acabamento superficial de um pavimento de concreto é resultado da penetração, preenchimento de poros e do grau de endurecimento causado pelo material sintético. Para obter uma profundidade de penetração ótima, ao aplicar um endurecedor superficial

como proteção superficial do piso, será necessário:

- eliminar a nata de cimento;
- fazer a limpeza com aspirador industrial de alta potência;
- empregar um impregnante sem pigmentos com alta porcentagem de substâncias sólidas e moléculas polimerizáveis o mais pequenas possível;
- uma viscosidade ótima de aproximadamente 100 Mpa, a fim de evitar que o impregnante escorra para o fundo;
- o lixamento da superfície impregnada;
- aplicar uma segunda capa do mesmo material, a fim de obter uma obturação absoluta dos poros.

9.6.3 Pintura superficial

O *selamento com pintura* consiste em uma capa de aproximadamente 0,05 a 0,1 mm de espessura, de excelente resistência ao desgaste, que se pode aplicar em várias camadas, se for necessário ou desejado, e que permite obter um piso impermeável a líquidos, com boa resistência química e mecânica. A superfície previamente impregnada é selada com uma capa adicional segundo um consumo de 120 g/m^2. A cor é obtida agregando-se ao selador líquido uma pasta de pigmentos.

9.6.4 Impregnação e pintura

Se o selamento com pintura não for suficiente para a finalidade prevista, pode-se aplicar uma capa de pintura com espessura entre 0,7 e 3 mm, em seguida à impregnação. Esta técnica é necessária para pisos expostos a ataques químicos e mecânicos. O mecanismo de proteção deste tipo de revestimento, esquematizado na Figura 9.6.3, é o mesmo que para o revestimento argamassado, e aumenta a resistência superficial do concreto por efeito da distribuição de cargas.

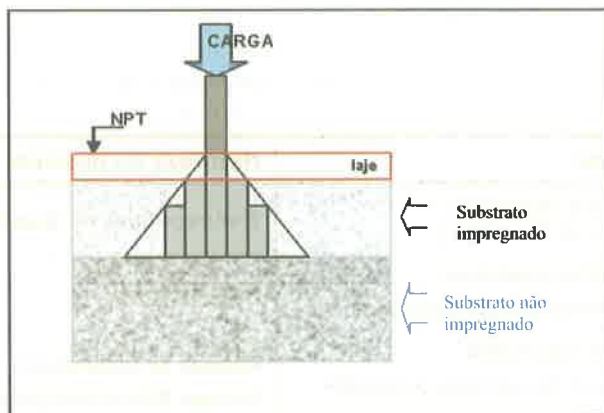



Figura 9.6.3. Mecanismo de proteção do revestimento, aumento da resistência superficial do concreto – Efeito de distribuição de cargas.

Um revestimento será tanto mais resistente e durável quanto:

- maior seja a espessura da capa;
- melhor seja a aderência do aglomerante com os agregados;
- maior seja a proporção de agregados;
- quanto mais duros, mais resistentes quimicamente, mais redondos e menos arestas tenham os agregados;
- melhor seja a correspondência das frações granulométricas dos agregados à curva de Fuller, ou seja, quando se usa uma granulometria contínua de agregados.

9.6.5 Revestimento argamassado

No caso de ser requerida maior resistência a choques e impactos, é recomendada capa de espessura mínima de 3 mm.

A proteção química é obtida pela natureza do aglomerante, dos misturadores, do grau de reticulação e das cargas e aditivos.

A proteção contra ataques químicos é obtida mediante a ausência absoluta de poros, a qual se consegue com um sistema em 2 capas à base de impregnação e posterior revestimento.

Com uma espessura de vários milímetros, obteremos uma superfície polimerizada bastante resistente, com elevada resistência à flexão e compressão na superfície, e totalmente homogênea e monolítica com a capa inferior. Com este sistema, as cargas pontuais são distribuídas uniformementes.

9.6.6 Classificação

A Tabela 9.5.2, a seguir, classifica os sistemas mais comumente usados para a proteção de pisos de concreto segundo a espessura e natureza dos produtos empregados.

Tabela 9.6.2. Sistemas de Proteção de Pisos de Concreto.

Espessura (mm)	**Natureza do produto**
Sistemas de baixa espessura: até 2 mm- pinturas (*coatings*)	Endurecedores de Superfície
Sistemas de média espessura: até 20 mm – revestimentos (*overlays*)	Resinas Epóxi
Sistemas de alta espessura: até 200 mm, lajes de concreto (*concrete slabs*)	Resinas de Poliuretano Resinas Polimetilmetacrilato

Endurecedores superficiais

Características

- Para aplicação em pisos novos, na etapa de construção.
- Boa resistência mecânica.
- São obtidos pisos sem geração de pó, de acabamento liso e sem poros abertos.
- Permitem demarcar faixas ou zonas com diferentes cores.
- Simples e fácil aplicação.
- Na existência de juntas, respeita as juntas do concreto em superfícies > 200 m^2.
- Sem juntas, até 200 m^2.

Natureza dos produtos

Trata-se de um pó de agregados silicosos, cristal de rocha de alta dureza (Mohs 7), cimento Portland, pigmentos, plastificantes e impermeabilizantes, que proporciona um acabamento superficial de alta resistência mecânica, de valor estético.

Preparo do substrato

É importante uma boa execução, lançamento e cura do concreto da base.

O concreto deve ter uma determinada resistência de acordo com as solicitações previstas para o piso e não deve endurecer demais, para permitir uma incorporação completa do produto na capa superficial.

É importante a cura do piso (no todo), e para isto a superfície deverá ser mantida bem umedecida durante no mínimo 3 dias.

Técnicas de Aplicação

Quando a água superficial de exsudação tiver desaparecido da superfície, espargir (a curta distância, para evitar segregação) o material uniformemente sobre a superfície do concreto fresco previamente vibrado e nivelado.

Não adicionar água ao produto antes do espargimento.

Passar suavemente uma desempenadeira manual para auxiliar na incorporação do produto à superfície.

Assim que o concreto estiver endurecido o suficiente para permitir caminhar sobre ele, compactar e alisar a superfície usando uma acabadora de pás giratórias («helicóptero» ou «bambolê»), procurando garantir uma boa incorporação superficial do produto ao concreto.

Para obter um acabamento perfeitamente liso, passar uma segunda vez a desempenadeira mecânica utilizando pás mais curtas e convenientemente inclinadas.

Resinas epóxi

A durabilidade dos sistemas à base de resinas depende fundamentalmente da aderência do material de revestimento com o substrato.

Características

- Resistente a água e óleos;
- possui boa resistência mecânica, química e à abrasão, sendo as propriedades características dependentes da formulação do produto;
- as resinas base água são menos resistentes aos requisitos químicos que as resinas base solvente;
- acabamento antipó;
- fácil de limpar;
- altamente estético;
- não é inflamável (as características ignífugas ou intumescentes dependerão da formulação do produto);
- possui comportamento térmico semelhante ao do concreto;
- não tem efeitos corrosivo sobre a superfície a revestir;
- em relação às resinas base poliuretano, são mais rígidas, embora com melhor desempenho contra solicitações químicas.

Nota: As características finais obtidas para um endurecedor superificial, pintura, revestimento argamassado, etc., vão depender também da resina utilizada, das cargas e demais elementos utilizados na formulação.

Limitações

- Deve-se consultar o fabricante sobre a compatibilidade de aplicação sobre superfícies de concreto que tenham risco de aumento de umidade ou que sua umidade relativa seja maior que 80 %. Pode-se utilizar também o procedimento indicado na ASTM E 6 "*Moisture Vapor Rate Test*" (Ensaio do Teor de Vapor), pois geralmente os revestimentos baseados em resinas epóxi têm uma capacidade muito limitada de difusão de vapor.
- Debe-se consultar o fabricante sobre as precauções a tomar quando a aplicação for sob temperatura inferior a 10 ºC.
- Baixa resistência a radiação UV.

Natureza dos produtos

Existem 2 grandes grupos de produtos, em função de a resina epóxi ser base água ou solvente.

Por outro lado, e conforme os diferentes requisitos, os fabricantes desenvolvem produtos para aplicação em diferentes espessuras, e com características especiais (autonivelantes, que não alteram o sabor dos alimentos, antiderrapantes, de fácil limpeza, decorativos, com alta resistência à abrasão, alta resistência química, etc.).

Preparo do substrato

As irregularidades existentes devem ser corrigidas antes da aplicação da resina.

Em concretos a argamassas novos, deverá ter-se cuidado especial em eliminar a nata superficial de cimento.

Em concretos e argamasssas velhos contaminados com graxas e/ou óleos, deverá ser feito o saneamento dos mesmos em seguida a um selamento da superfície.

Em todos os casos, a superfície a revestir deverá estar sã, firme, limpa, isenta de pó, material solto, óxidos, óleos, graxas, pinturas, etc.

Os tratamentos de limpeza serão do tipo mecânico (jato de areia, escarificação, jato de granalha, etc.) e serão executados tanto para o concreto como para as superfícies de aço existentes e que necessitem ser revestidas.

Após o tratamento mecânico, é conveniente a aspiração do pó gerado e depositado sobre o substrato.

Deverá ser verificado especialmente que o teor de umidade e temperatura do substrato estejam dentro dos limites estabelecidos pelo fabricante, tomando especial cuidado em relação à temperatura ambiente, umidade relativa e ponto de orvalho na superfície a revestir (deverá estar no mínimo 3 °C acima do ponto de orvalho).

A resistência à compressão mínima do substrato deverá ser de 25 MPa.

Os concretos e argamassas deverão ser curados no mínimo 28 dias.

Técnicas de Aplicação

Variam de acordo com o produto, podendo ser com pincel ou rolo, para pequenas espessuras, e em função do acabamento desejado, e com rolo dentado e rolo quebra-bolhas (para remover o ar aprisionado), no caso de argamassa autonivelante.

Resinas de poliuretano

Características

Como no caso das resinas epóxi, a durabilidade dos pisos à base de resinas de poliuretano depende basicamente da aderência do material de revestimento com o substrato.

Com relação aos sistemas executados com resinas epóxi, os de poliuretano se destacam por:

- Alta elasticidade.
- Capacidade de selar fissuras.
- Boa resistência ao impacto.
- Alta resistência à radiação UV.
- Elevado custo.

Preparo do substrato

As irregularidades porventura existentes devem ser corrigidas antes da aplicação da resina. Em concretos e argamassas novos, deverá ser tomado cuidado especial em eliminar a nata superficial de cimento.

Em concretos e argamassas velhos contaminados com graxas e/ou óleos, deverá ser feito o saneamento dos mesmos e o selamento (proteção superficial) da superfície.

No caso de reaplicação (existência de pinturas base poliuretano velhas, ou demãos anteriores aplicadas há mais de 24 horas), é conveniente lixar, a fim de garantir uma aderência correta.

Em todos os casos, a superfície a revestir deve estar sã, firme, limpa, livre de pó, material solto, óxidos, óleos, graxas, pinturas, etc.

Os tratamentos de limpeza serão do tipo mecânico (jato de areia, escarificação, jato de granalha, etc.) e serão executados tanto para o concreto como para as superfícies de aço existentes e que necessitem ser revestidas.

Após o tratamento mecânico, é conveniente a aspiração do pó gerado e depositado sobre o substrato.

Deverá ser verificado especialmente que o teor de umidade e temperatura do substrato estejam dentro dos limites estabelecidos pelo fabricante, tomando especial cuidado em relação à temperatura ambiente, umidade relativa e ponto de orvalho na superfície a revestir (deverá estar no mínimo 3 °C acima do ponto de orvalho).

A resistência à compressão mínima do substrato deverá ser de 25 MPa.

Os concretos e argamassas deverão ser curados no mínimo 28 dias.

Técnicas de Aplicação

Variam de acordo com o produto, podendo ser com pincel ou rolo, para pequenas espessuras, e em função do acabamento desejado, e com rolo dentado e rolo quebra-bolhas (para remover o ar aprisionado), no caso de argamassa autonivelante.

9.6.7 Procedimento de execução

A prática comum é realizar amostras em uma pequena área representativa do todo, usando diferentes metodologias para avaliar o desempenho do produto na situação da ação combinada dos agentes presentes.

Sugere-se isolar uma área no piso e dividi-la em quadrículas para organizar a aplicação de uma dada metodologia por setores, facilitando a coordenação do trabalho.

Outro elemento metodológico de utilidade é variar a diluição das diferentes demãos, a fim de controlar melhor a evolução do trabalho. O programa de trabalho deverá incluir o ritmo de preparação das misturas nos produtos bicomponentes, levando em conta a vida útil da mistura indicada pelo fabricante.

Na Tabela 9.6.3, tem-se o *RILEM-properties+Data*, um guia para para a seleção do produto mais adequado à situação em apreço.

Tabela 9.6.3. *RILEM-properties+Data series 1:* Guia para a seleção do sistema de proteção.

Propriedades de Impregnantes, Pinturas, Revestimentos e Acabamentos			
1. Designação	1 Prod 1	2 Prod 2	3 Prod 3
2. Principais Características			
Base (composição)			
Solvente			
Uso			
Componentes			
Fibras (% em massa)			
Espessura, mín			
Espessura, máx			
Densidade			
Preço por kg (kit completo)			
Preço por L (kit completo)			
Espessura média (Ø)			
Preço por m^2 (espessura de material, Ø)			
Preço aplicado, por m2			
Tempo de pega ou endurecimento			
Camadas, mín			
Primer			
Tempo de indução 1, mín (20 ºC)			
Tempo de indução 1, máx (20ºC)			
Homogeneização			
Tempo de indução 2, mín (20 ºC)			
Tempo de indução 2, máx (20 ºC)			
Acabamento (selador)			
Abrasão			
Método de Ensaio			
Resistência (4*4*16)N/mm^2			
Embalagem, kit completo			
3. Outras características técnicas			
Sistema de Qualidade			
Fluidez			
Método de Ensaio			
Uso externo			
Substrato úmido			
Fíler (*filling*), mín			
Fíler, máx			
Dimensão característica dos agregados, mín			
Dimensão característica dos agregados, máx			
Instruções de limpeza			
4. Parâmetros de segurança			
Símbolos de riscos à saúde			
Situações R e S			
Instruções para transporte			
5. Aplicações			
Rendimento por hora e mão-de-obra			
Mistura no canteiro			
6. Referências			
Início da produção			
Relatórios			

7. Literatura técnica Última revisão Boletins técnicos Fichas de segurança Rótulo (s) Instruções de aplicação (vídeo) Instruções de limpeza Manutenção **8. Propriedades gerais** Resistência ao escorregamento Embalagem, mín Temperatura, mín Temperatura, máx Caracterização (impressão digital) **9. Amostras** Antes do endurecimento (1 kg) Após o endurecimento (4*4*16), capacidade máxima	

O esquema de trabalho deve ser como a seguir:

1. Levantamento das condicionantes do substrato:

    - Medição da resistência à compressão (Esclerometria).
    - Estimativa da coesão interna (Resistência à tração – Ensaio *Pull-out*).
    - Medição do teor de umidade.

    Existem vários métodos (destrutivos e não destrutivos) para medir o grau de transmissão de vapor d'água no concreto. Um método simples dentre eles é o da ASTM D4263, «Standard Test Method for Indicating Moisture in Concrete by the plastic Sheet Method» (Ensaio Padrão para a Indicação do Teor de Umidade no Concreto pelo Método da Lâmina Plástica), em que um quadrado de filme de polietileno (1x1 m^2) é colocado sobre o substrato quando as condições ambientais são semelhantes às esperadas no momento da aplicação do sistema de proteção. Anota-se a data e hora do início do ensaio, temperatura ambiente e umidade relativa existentes, e 72 horas depois um higrômetro de ponto de orvalho é inserido rapidamente sob uma das extremidades do filme de polietileno. Mede-se então a umidade relativa existente, e se retira o filme. A área deve estar isenta de qualquer traço de umidade, descoloração ou odor úmido. A umidade relativa sob o filme plástico deve ser inferior a 79 % para obter bons resultados na maioria dos sistemas.

2. Levantamento das condicionantes climáticas.
3. Temperatura ambiente.
4. Temperatura do substrato.

5. Ponto de Orvalho.
6. Preparo do substrato.
    - Limpeza
    - Reparo de fissuras (passivas)
    - Preparação específica em pontos singulares, como Juntas com Movimentação, Encontros piso/parede, Encontros com sumidouros e drenos, conforme os passos seguintes:
        a. Impregnação da superfície de concreto.
        b. Preenchimento de irregularidades profundas com argamassa de reparo (juntas, trinchas e cavidades)
        c. Acabamento com revestimento de proteção.
        d. Aplicação de segunda capa de reforço, de 1 a 5 mm de espessura.
        e. Revestimento antiderrapante em locais úmidos.
        f. Pintura colorida para proporcionar fácil manutenção e conseguir um bom aspecto estético.

As fotos a), b), c) e d), a seguir, ilustram uma seqüência de procedimentos básicos para a execução de pavimentos e pisos em áreas externas:

a) Limpeza do substrato

b) Argamassadeira

c) Processo de regularização

d) Extensão do revestimento

9.7 Pontos Singulares - Juntas

Vimos que a seleção de um sistema de proteção adequado implica a seleção de um procedimento mais geral e a adoção de soluções para os pontos singulares da estrutura. Dentre esses pontos singulares estão as *juntas*.

9.7.1 Juntas

Entendemos como *«junta»* o espaço ou descontinuidade que existe entre dois ou mais elementos da construção.

As juntas classificam-se em:

- *Juntas de Concretagem* – também chamadas juntas frias, são aquelas que surgem durante a concretagem sobre um concreto já endurecido e quando não se consegue monolitismo entre concretos de diferentes idades. Estas juntas não possuem movimentação.
- *Juntas de Retração* – são as descontinuidades ou espaços que deixamos para concentrar as retrações (diminuição de volume) que são produzidas durante o processo de hidratação e endurecimento do concreto. Normalmente são de 4 mm de abertura e possuem profundidade de 1/3 da seção do elemento. Estas juntas determinam normalmente uma área em quadrícula de não mais que 36 m^2.
- *Juntas de Dilatação* - permitem os movimentos relativos entre duas partes de uma estrutura, produzidos por dilatações, contrações, recalques e deformações causadas pelas cargas atuantes. Se fossem restringidos esses movimentos relativos, seriam produzidos esforços não considerados no projeto e dimensionamento da estrutura, provocando deformações e danos.
- *Juntas de Encontro ou União* – aquelas que existem entre dois elementos construtivos afetados por pequenos movimentos, por exemplo, entre uma fachada de concreto e uma abertura de madeira – com movimentações causadas por variações de temperatura e umidade.

Estas descontinuidades são um ponto crítico em nossas estruturas, e requerem sistemas de proteção específicos para evitar o ingresso de agentes agressivos e para permitir os movimentos já considerados no projeto, sem gerar danos que demandem serviços especiais de reparo.

Para alcançar os fins mencionados, existem diferentes soluções, apresentadas na Tabela 9.7.1.

Tabela 9.7.1. Materiais para juntas.

SOLUÇÕES	
SELAMENTO COM MÁSTIQUE ELÁSTICO	Plástico Plasto-elástico Elástico
PERFIS PRÉ-FORMADOS (Alto desempenho)	Embutidos na estrutura Aderidos sobre a superfície
PERFIS PRÉ-FORMADOS (menor desempenho)	Auto-adesivos Executados no canteiro

A escolha da solução mais conveniente para um caso particular deverá ser feita em função da avaliação dos diferentes requisitos a que estará submetida a estrutura, e que são detalhados a seguir:

- Elasticidade permanente;
- resistência ao envelhecimento;
- adesão-coesão;
- estanqueidade a gases, líquidos e fogo;
- resistência química a ácidos, bases – por tempos prolongados ou curtos, conforme as condições de exposição consoante a arquitetura da obra;
- resistência mecânica;
- isolamento térmico e acústico;
- qualidades estéticas, como cor e aspecto.

A seleção será feita em função dos requisitos mais importantes, e das soluções que melhor satisfazem essas exigências. Devem ser considerados aqui também itens como *Custo* e *Vida Útil*.

Neste sentido, definimos *vida útil* como o período de tempo durante o qual uma junta satisfaz os requisitos mais importantes para os quais foi projetada. Dentro do enfoque sistêmico que temos abordado, a vida útil da junta deve estar relacionada com a vida útil do sistema geral de proteção adotado.

Serão abordados a seguir, como exemplo, os critérios de projeto, seleção, dimensionamento, condições de aplicação e procedimentos de execução de *juntas com mástiques elásticos*.

Selantes – mástiques elásticos

Em geral, em uma junta, com exceção das juntas de concretagem, é possível distinguir 4 partes básicas:

- *Face livre:* é a parte acessível, situada no mesmo plano da superfície que estamos protegendo.
- *Lábios:* são as paredes laterais, situadas uma em frente à outra, não necessariamente paralelas, e que delimitam o material de selamento.
- *Fundo* ou *Corpo-de-apoio:* é um material de enchimento, não aderente e compressível, que serve de respaldo ao selante. Ficará mais ou menos profundo para estabelecer o «fator de forma», conforme o tipo de selante que será utilizado.
- *Selante* ou *Mástique:* é uma massa de preenchimento, e pode ter formulações diferentes conforme os requisitos que devam ser cumpridos.

Projeto da junta

Para o projeto adequado de uma junta, devemos conhecer perfeitamente *as solicitações* a que ela estará submetida e quantificá-las com a maior precisão possível.

Principais solicitações:

- Químicas: contato permanente ou acidental com substâncias químicas no estado sólido, líquido ou gasoso, em concentrações que possam afetar a vida útil do sistema de selamento ou mesmo da própria construção.
- Derivadas da limpeza e manutenção: correspondem a ataques químicos enérgicos muito freqüentes e de curta duração.
- Térmicas: choques térmicos ou temperaturas de serviço particularmente altas ou baixas.
- Estéticas: necessidade de acabamentos com uma estética determinada (textura, cor, etc.).
- Segurança: resistência ao fogo, compatibilidade com alimentos, água potável, etc.
- Mecânicas: impacto, punção, variações dimensionais, rodagem de veículos, tração, compressão, cortante, torção, atrito.

Um exemplo de juntas com solicitações mecânicas são as juntas com movimentação, e neste caso importa conhecer a origem, direção e magnitude dos movimentos. Normalmente, os movimentos são causados por forças oscilantes de tipo físico, tais como:

- Variações de temperatura;
- gradiente de umidade;
- variações de pressão;
- variações de carga.

Muitas vezes estas forças oscilantes atuam sobre os mástiques em direção oposta à do elemento estrutural, conforme a Tabela 9.7.2.

Tabela 9.7.2.

Se o elemento estrutural se:	**O mástique na junta se:**
Dilata	Achata (compressão)
Contrai	Dilata (tração)
Desloca	Desloca (cortante)

As dilatações e contrações de origem térmica são as mais comuns, podendo ser quantificadas conforme a fórmula seguinte:

$$\Delta L = L\alpha\Delta T$$

onde:

ΔL incremento de comprimento devido à temperatura

α coeficiente de dilatação térmica do material

L comprimento no sentido perpendicular à junta

ΔT variação de temperatura

Cálculo da Largura (Abertura) da Junta

Para que o mástique trabalhe elasticamente, a largura da junta deverá verificar a seguinte fórmula:

$$a = \frac{\Delta L}{m}$$

onde:

a largura mínima da junta

ΔL incremento de comprimento devido à temperatura

m movimento admissível do mástique, em %

A largura da junta deverá estar entre esse valor mínimo «a» e o valor máximo fixado pelo fabricante para cada mástique em particular. As larguras ideais estão entre 2 e 5 cm, e assim se o cálculo indicar valor superior, será conveninente dividir o elemento em um número maior de juntas.

Profundidade da junta

Para definir a profundidade de uma junta, é imprescindível conhecer o *fator de forma*, que é a relação entre a largura e a profundidade ideal para conseguir uma distribuiçao uniforme de cargas por toda a superfície de aderência – entre o mástique e os lábios da junta – conforme ilustra a Figura 9.7.1 e a Figura 9.7.2.

A prática aliada à teoria indica que para o tipo de mástiques que estão sendo usados atualmente, a *profundidade da junta deverá ser a metade da largura da mesma*.

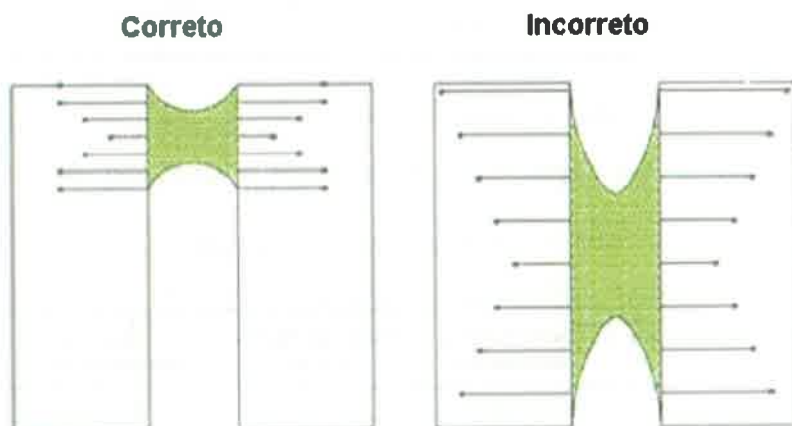
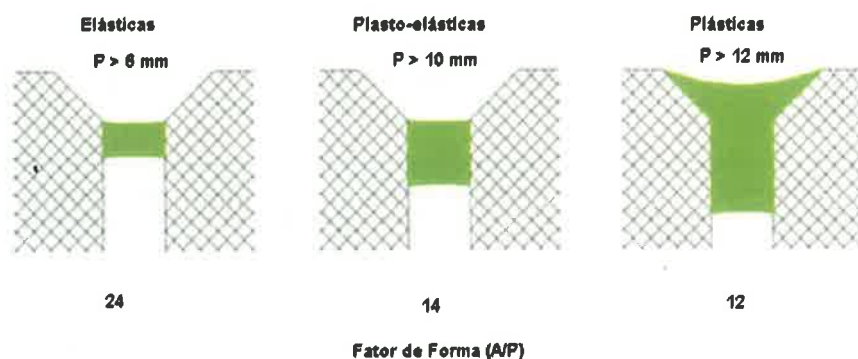



Figura 9.7.1. Critérios de dimensionamento de Juntas [11].

Critério de seleção

Se considerarmos a composição dos mástiques, temos:

- Ligantes — definem as características básicas
- Cargas — dão corpo.
- Pigmentos — definem a cor.
- Plastificantes — regulam a trabalhabilidade.
- Aditivos — aceleradores, adesivos e outros.

O ligante determinará a capacidade de movimentação permanente e a resistência química do mástique, e neste sentido podemos classificar os mástiques por sua composição conforme a Tabela 9.7.3.

Tabela 9.7.3. Selantes-Mástiques

Ligantes	Forma de cura	Tipo de mástiques
□ Poliuretanos □ Polissulfetos □ Silicones	Reação química	Elásticos*
□ Acrílicos (dispersão) □ Borracha butílica □ Betume modificado	Secagem física	Gama intermediária
□ Betume □ Alcatrão □ Óleos plásticos	Secagem física ou oxidação	Plásticos

* Sendo os mástiques elásticos os de uso mais freqüente.

A Tabela 9.7.4 a seguir reúne as principais propriedades dos mástiques.

Tabela 9.7.4. Propriedades dos Mástiques.

Tipo de mástiques	Deformação admissível	Fator de forma (a/p)	Grau de recuperação (r)
elásticos	15 – 25 %	2 : 1	R >90 %
elasto-plásticos	----	----	50 %<R<90 %
plasto-elásticos	10 – 15 %	1 : 1	10 %<R<50 %
plásticos	5 %	1 : 2	R <10 %

Condições de aplicação

- Devem ser respeitados os intervalos de temperatura e umidade relativa do ar indicados pelos fabricantes.
- Em geral os trabalhos de selamento serão suspensos quando a temperatura do substrato for inferior a + 5 °C ou superior a + 40 °C, salvo indicação em contrário do fabricante.
- Temperaturas altas (próximas aos 20 °C) aumentam a velocidade de reação, aumentando as resistências a curto prazo. Reduzem ainda a viscosidade do produto, e assim podem reduzir-se os consumos, facilitando a aplicação e trabalhabilidade.

Procedimento de execução

Análise prévia/diagnóstico

- Inspeção visual e análise do tipo de ambiente em que se encontra a estrutura afetada
- Resistencia à tração na superfície
- Estado da superfície
- Temperatura e umidade superficial
- Ponto de orvalho
- Temperatura ambiente

Preparo do substrato

O substrato deverá ser preparado para que no momento da execução do selamento da junta esteja em perfeitas condições, tendo-se eliminado previamente toda partícula solta ou mal aderida (Figura 9.7.2) utilizando para isto métodos mecânicos como o jato de areia, o jato de água sob alta pressão, o escovamento manual ou mecânico

Controle de qualidade

- Passar a mão na região preparada para verificar se não existe pó.
- Golpear com martelo ou outro objeto contundente a região para detectar áreas ocas ou mal aderidas.
- Molhar com água a superfície do concreto ou argamassa para detectar áreas com vestígios de desmoldantes, etc.

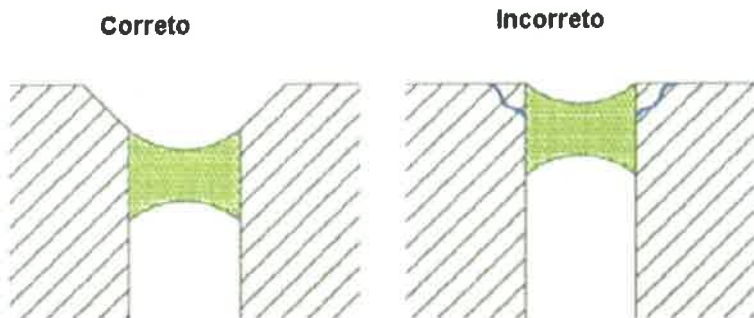



Figura 9.7.2. Preparo do substrato, eliminação de partes soltas ou mal aderidas [11].

- Colocar material separador de fundo (corpo-de-apoio), de seção circular, tipo cordão flexível, com diâmetro aproximadamente 25 % maior que a abertura da junta, de modo que o material fique sujeito a compressão e confira ao mástique a forma côncava, conforme Figura 9.7.3.

Deste modo consegue-se:

- Estabelecer a seção ótima, ao delimitar a profundidade do selante, em função do fator de forma.
- Impedir que o mástique adira ao fundo da junta.
- Limitar o consumo de mástique.

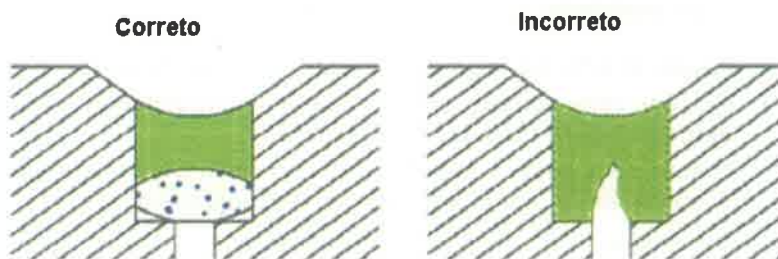



Figura 9.7.3. Colocação do material [11].

Imprimação das bordas

Com a finalidade de melhorar a aderência do material selante (mástique) e os lábios da junta, podem ser empregados *primers* específicos, indicados

pelo fabricante do mástique, em função do mesmo e do substrato sobre o qual será aplicado. Sugere-se para a imprimação colocar uma fita adesiva na face superior dos lábios da junta para evitar manchar a superfície. Aplicar o *primer* com pincel ou broxa nas laterais, tomando o cuidado especialmente de não aplicar no fundo.

Aplicação do mástique

- Exceto no caso de mástiques fluidos para aplicação em piso por gravidade, os demais serão aplicados usando pistola ou aplicador.
- Deverá ser cortado o bico da pistola em um ângulo de 45° com uma seção da largura da junta a preencher. A aplicação será feita deslocando o bico (realizada anteriormente) do aplicador paralelamente à junta.
- Cuidado especial deverá ser tomado para garantir o preenchimento de todo o berço da junta, evitando que se formem bolhas e vazios na aplicação.

Recomendações especiais

- As juntas de movimentação não devem ser revestidas com nenhum tipo de material rígido.
- Em áreas de tráfego pesado ou contínuo, é recomendável reforçar os cantos das juntas mediante a utilização de cantoneiras metálicas ou ainda com sistemas alternativos de materiais sintéticos.

Controle de qualidade da execução

- Ausência de bolhas e crateras no mástique, por inspeção visual.
- Endurecimento completo, por inspección visual e endurecimento ao tato.

Critérios de manutenção

- Cuidar para que não sejam excedidas as cargas, volume de trânsito, etc., máximos previstos no projeto quando se tratar de juntas em pavimentos.
- Evitar o ataque continuado de agentes químicos tolerados sobre o mástique.
- Evitar a queda de agentes químicos não tolerados sobre o mástique.
- A cada 5 anos (ou antes, se for preciso) deverá ser realizada uma inspeção do estado das juntas observando se aparecem em alguma região fissuras, rupturas, bolhas ou qualquer outro tipo de lesão. Se for observada alguma anomalia, deverá ser reparada imediatamente para evitar sua continuação e que ocorram danos à estrutura.

Seqüência de fotos de *juntas* em pisos, pontes e viadutos de concreto com sinais visíveis de deterioração.

DETERIORAÇÃO DE JUNTA EM TABULEIRO DE PONTE POR MAU DIMENSIONAMENTO E FALTA DE MANUTENÇÃO

DETERIORAÇÃO DE JUNTA EM PAVIMENTO DE CONCRETO POR AÇÃO DE GELO E DEGELO

MÁ SELEÇÃO DO MATERIAL

DETERIORAÇÃO DE JUNTA EM PAVIMENTO DE CONCRETO POR MAU DIMENSIONAMENTO E/OU

DETERIORAÇÃO DO CONCRETO DO TABULEIRO POR FALTA DE MANUTENÇÃO NAS JUNTAS E NOS DRENOS , PROVOCANDO FISSURAS, MANCHAS ESCURAS E EFLORESCÊNCIAS.

9.7.2 Juntas em Pisos de Concreto

A seleção do sistema adequado implica, além da escolha do procedimento geral, o projeto de soluções particulares para os pontos singulares.

Neste sentido, teremos que considerar, além da solução geral adotada, as soluções mencionadas e ilustradas na Figura 9.7.4 a seguir:

- Juntas de movimentação
- Juntas de encontro piso-parede
- Juntas de encontro piso-ralo

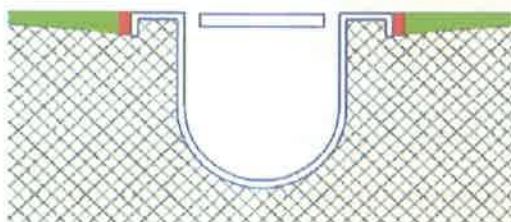



Figura 9.7.4. Soluções de proteção para as juntas com movimentação, para o encontro do pavimento com as superfícies verticais e do pavimento com drenos e bueiros.

Exemplo - Piso antiestático

A ausência de estática constitui um requisito específico para *indústrias*

onde são manuseados produtos químicos voláteis, explosivos, *salas de cirurgia em hospitais*, e diante da possível alteração de dispositivos de medição, em laboratórios, centrais elétricas, e outros.

O concreto seco tem uma resistência elétrica de 100 M&! (100.000.000 Ohm) ou mais, que é muito alta para a proteção contra faíscas de correntes estáticas. O piso deve ter resistência suficiente para evitar que a corrente circule através das pessoas. Os pisos condutivos têm resistências inferiores a 1 MÙ (1.000.000 Ohm), medidas com dois eletrodos colocados a uma distância de 90 cm a partir de qualquer ponto do piso.

Não é necessária alta condutividade para conseguir eliminar as faíscas, embora algumas normas aconselhem resistências entre 25.000 e 1.000.000 Ohm como satisfatórias contra correntes estáticas, reduzindo a possibilidade de choque elétrico. A norma DIN 51.953 estabelece uma tensão de 800 V e considera útil uma resistência de 10^4 a 10^6.

A condutividade elétrica de um piso depende dos materiais empregados, do teor de umidade e sais, da umidade ambiente e da temperatura. No caso de condutividade insuficiente, recomenda-se tratar o piso com um *primer* condutivo, colocar malhas de fita de cobre conectadas à terra sobre a imprimação e, como etapa final, aplicar um revestimento protetivo.

9.7.3 Juntas em pontes e viadutos

Podemos definir uma *junta* como o espaço ou descontinuidade que existe entre dois ou mais elementos de uma estrutura. No caso de obras de arte -pontes e viadutos - as juntas classificam-se em:

Juntas de Dilatação

São dispositivos que permitem os movimentos relativos entre duas partes de uma estrutura.

Em alguns projetos de pontes os tabuleiros são interrompidos para satisfazer requisitos estruturais de projeto e construção, para garantir os movimentos reológicos, tais como variações de temperatura, efeitos de retração ou fluxo plástico, encurtamento por protensão, cargas de tráfego, recalques diferenciais ou tolerâncias requeridas, compatíveis com as condições de apoio, entre outros. Em tais casos, devem-se considerar na estrutura movimentos admissíveis que garantam um desempenho adequado para os diferentes estados limites de utilização da ponte, onde a deterioração ou falha das juntas podem comprometer sua segurança.

Os tipos de juntas e as interrupções na superfície do pavimento devem considerar ainda o conforto dos motoristas, o deslocamento de pedestres e o movimento de bicicletas e motos.

Juntas de expansão

As principais funções das juntas de expansão são:

- Garantir que a movimentação total projetada da ponte sobre as juntas seja cumprida sem impactos ou danos aos elementos estruturais.
- Garantir a continuidade da capa de rodagem da ponte, para dar maior conforto aos motoristas de veículos, pedestres, bicicletas e motos.
- Serem impermeáveis e escoar as águas sobre o tabuleiro de forma rápida e segura.
- Não devem ser fonte de ruídos, impactos ou vibrações ao suportar as cargas do tráfego.

As juntas [12] [13] [14] são dispositivos que dependem dos movimentos da estrutura, e suas funções somente são cumpridas quando os comprimentos dos berços de apoio (*seating*) das vigas ou lajes são suficientes para possibilitar'os movimentos quando ocorrem eventos sísmicos. Ao calcular estes comprimentos, deve-se levar em conta que os elementos estruturais podem perder seus revestimentos quando recebem carga de impacto, conforme mostrado na Figura 9.7.5. Por isto, no projeto dos detalhes de juntas de pontes, deve-se procurar fazer extremidades reforçadas, o que denominado «reforço de borda», para proteger as laterais.

Figura 9.7.5. Falha de junta por falta de berço de apoio (*seating*)

Isto se torna mais patente nos casos em que as juntas estão mal posicionadas, com excentricidade, o que faz com que possa falhar o berço de apoio do elemento estrutural devido ao fato de as bordas agudas da laje sofrerem maior deslocamento que as bordas opostas, por rotação do elemento, conforme se vê na Figura 9.7.6.

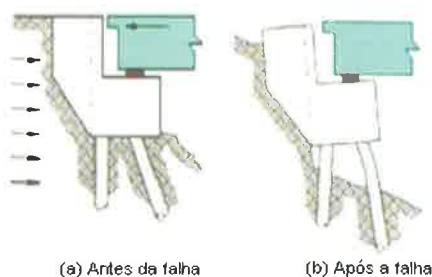
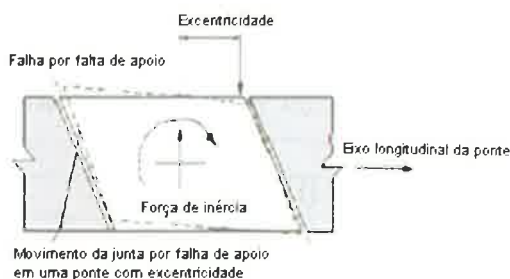



Figura 9.7.6. Falha de junta por «rotação por excentricidade»

Avaliação dos movimentos das juntas

Os movimentos das juntas, irreversíveis e reversíveis, ocorrem em condições de serviço da estrutura e sob solicitações sísmicas. Somando ambas, obtém-se o movimento total.

Movimentos Irreversíveis

- *Retração do Concreto*, que toma o valor aproximado de 0,25 mm por metro, sem incluir o grau de umidade do ambiente, a espessura da peça concretada, o traço do concreto utilizado, o uso de plastificantes ou aditivos e a taxa e bitola da armadura utilizada. Deve-se corrigir este valor conforme o tempo transcorrido entre a concretagem do elemento e a instalação da junta, admitindo-se 100 % em 2,5 anos, conforme a equação (1):

$$\Delta l_R^+ = 0.25\ xLxK$$

$$K_{TR} = (1 - \frac{T}{30}) \tag{1}$$

onde T representa os meses transcorridos.

- *Deformação Lenta do Concreto (Creep)*, que toma, nas mesmas condições anteriores, o valor aproximado de 0,20 mm por metro, com uma correção de 100 % em 10 anos, conforme a equação (2):

$$\Delta l_F^- = 0.20\ xLxK_{TR}$$

$$K_{TR} = (1 - \frac{T}{120})$$

(2)

Movimentos Reversíveis

- *Dilatação e Retração Térmica*, levando em conta os picos máximos (Tmax) e mínimos (Tmin) de temperatura diária na região da ponte e admitindo um valor médio de 0,01 mm por metro e grau Centígrado (Tmed). Isto dá a equação (3), e daí resulta a Tabela 9.6.5 de correção da espessura do elemento estrutural.

$$\Delta l_T^+ = (T\,\text{max} - T\,\text{med})xLx0{,}01K_H$$

$$\Delta l_T^- = (T\,\text{min} - T\,\text{med})xLx0{,}01K_H$$

(3)

- *Condições de frenagem e arranque*, considerando uma força horizontal máxima de 18.000 kgf, que deforma a totalidade dos apoios de neoprene, com um módulo de deformação por corte de G= 0,14 kgf/mm², representado na equação (4):

$$\Delta l_T^{+/-} = \frac{FxT}{G_{inst}\ xaxbxn} \quad \textbf{(4)}$$

T= espessura média, em mm
axb= dimensões médias, em mm.
n = número total de apoios

Tabela 9.7.5. Fator de correção da espessura.

Lajes Maciças	
Espessura	**KH**
0,30 m	1,15
0,60 m	1,00
0,90 m	0,97
1,20 m	0,95
Lajes Alveolares	
0,60 m	1,09
0,90 m	1,05
1,20 m	1,02
1,50 m	1,00
Lajes em Caixão Perdido	
1,67 m	1,06
2,22 m	1,00
2,78 m	0,97
3,33 m	0,95

Movimentos Totais na Condição de Serviço:

Obtêm-se os movimentos totais de abertura da junta (5) somando as expressões (1), (2), (3) e (4):

$$\Sigma\Delta l^- = \Delta l_R^- + \Delta l_F^- + \Delta l_T^- + \Delta l_N^-$$

(5)

e os movimentos totais de fechamento da junta conforme a equação (6):

$$\Sigma\Delta l^+ = \Delta l_T^+ + \Delta l_N^+$$

(6)

Sob Solicitações Sísmicas

Segundo a proposta de norma MTC-1987, o comprimento dos apoyos **N** (mm) pode ser determinado conforme a equação (7), onde a, b e c

dependem dos níveis de projeto correspondentes, tal como mostrado na Tabela 9.7.6 (LOBO-QUINTERO,1992):

$$N = a + b.L + c.H$$

(7)

Onde L (m) é o vão e H (m) é a altura da ponte.

Tabela 9.7.6. Fatores de Apoio.

Nível	a	b	c
ND1	250	10/6	20/3
ND2	300	20/9	80/9
ND3	400	10/4	10

Conhecido o comprimento do apoio, pode-se estimar o deslocamento da junta **Δj** levando em conta a soma do deslocamento relativo da estrutura **Δl** com as respostas transversais **Δt** e o efeito da trajetória das ondas **Δs**. Segundo PRIESTLEY et al, 1996, estes valores podem ser obtidos da seguinte maneira:

$$\Delta j = \Delta l + \Delta t + \Delta s$$

(8)

onde **Dl** é obtido pela diferença entre os deslocamentos estruturais separados por junta. Estes valores dependem muito da relação de rigidez entre estes elementos, e uma comparação entre eles é mostrada na Figura 9.7.7.

Δt é o efeito da largura do apoio na direção transversal, e é admitido igual a 0,015 N, da expressão (7).

Δs depende da distância média entre juntas, L, e é admitido igual a 0,001L.

Conhecidos os deslocamentos relativos da junta por ações sísmicas, **Δj**, o movimento total deve incorporar os deslocamentos de serviço anotados nas expressões (5) e (6), tomando os sinais correspondentes.

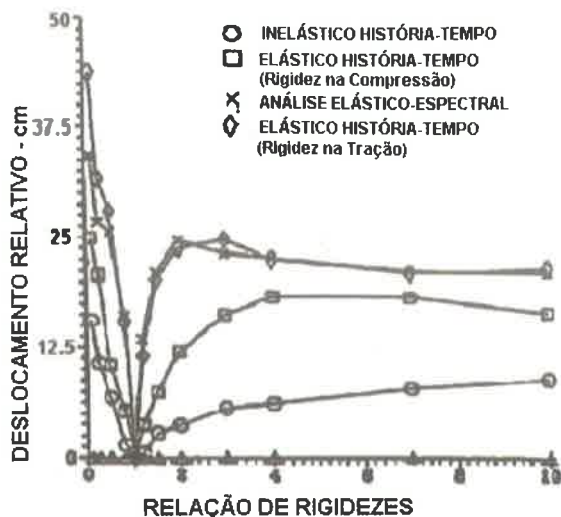



Figura 9.7.7. Gráfico de deslocamento relativo vs relação de rigidezes.

Classificação

De acordo com sua conformação e levando em conta o procedimento construtivo, *as juntas de expansão* classificam-se em:

1. *Juntas Abertas*

   quando não apresentam dispositivo ou conexão na abertura e permitem a passagem direta da água.

2. *Juntas Moldadas no Local*

   quando são vazadas no local.

3. *Juntas Pré-Moldadas*

   quando são montadas com materiais pré-fabricados.

4. *Mistas*

   quando reúnem dois ou mais dos tipos já descritos.

A seguir, são apresentados uma série de esquemas ilustrativos dos diferentes tipos de juntas de expansão com suas principais características.

1. Juntas Abertas (Figura 9.7.8)

Por ser a primera junta conhecida, é encontrada em pontes antigas de vãos pequenos, com abertura variando entre ½" (12 mm) e 2" (50 mm). Sua vantagem é o custo inicial de construção relativamente baixo. Deixa passar a água e outros elementos, que travam o funcionamento da junta, o que gera a necessidade de reparos dispendiosos nos elementos adjacentes.

Figura 9.7.8.

2. Juntas Moldadas no Local

- Juntas com Selante Plástico (Figura 9.7.9)

  Encontram-se em diferentes versões e suportam movimentos de até 1½» (38 mm). São fáceis de construir, colocando-se no fundo do berço um cordão flexível (corpo-de-apoio), geralmente de poliestireno expandido, e em seguida um selante plástico ou mástique preto de consistência semi-rígida, que é uma combinação de asfaltos refinados, resinas plastificantes e fibra de asbesto.

  Não são caras. O problema que ocorre é o atrito do topo com elementos químicos e mecânicos estranhos à junta, que solta o topo, permitindo a entrada da água e causando a deterioração acelerada da mesma. O selante sofre ainda desgaste por cargas cíclicas de tráfego e variações de temperatura, que endurecem-no.

Figura 9.7.9.

- De Argamassa Epóxi (Figura 9.7.10)

  São conformadas por reforços de borda tipo lábios poliméricos, um de cada lado da junta, feitos com uma argamassa epóxi aplicada usando fôrma perdida (descartável), com elastômero aplicado sobre corpo - de - apoio, e aderido apenas às paredes laterais dos reforços de borda. Os movimentos permitidos estão na ordem de 2,5 vezes a largura da junta, ou 2" (25 mm).

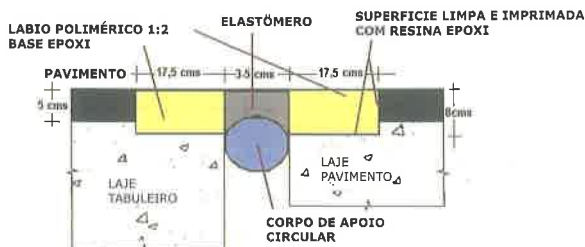



Figura 9.7.10.

São impermeáveis e com grande resistência ao impacto de carga viva sobre a superfície. O elastômero se desgasta com a aplicação de cargas cíclicas, endurece e se solta. Os reforços de borda separam-se em capas depois de 10 anos por falta de aderência entre elas, quando não são atendidas as especificações para o preparo da argamassa epóxi.

- De Graute Expansivo (Figura 9.4.11)

Projetadas para trabalhar sob movimentos não superiores a 2½" (60 mm); têm a mesma conformação estrutural da junta de argamassa epóxi, sendo usadas para substituí-las para baixar os custos. Experimentam os mesmos problemas, com o elastômero soltando -se por fadiga do material. Os reforços de borda tendem a falhar por cortante quando os elementos estruturais são impactados sob cargas cíclicas e também por efeitos de retração.

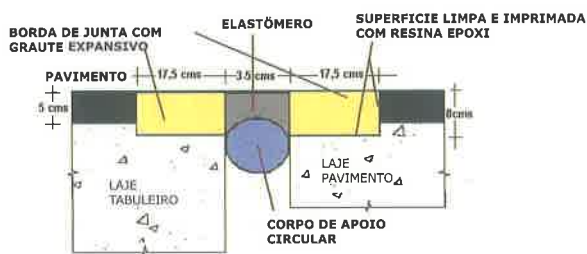



Figura 9.7.11.

Armadas de Graute Expansivo (Figura 9.7.12)

Foram projetadas para suportar movimentos não superiores a 5 cm. Os reforços de borda extendem-se até a armadura do componente estrutural, e ali soldam-se com as vigotas que armam as bordas, que têm juntas transversais de manta asfáltica a cada metro linear, e são preenchidas com graute expansivo. O MTC a utilizou como Tipo A, para tráfego pesado.

Figura 9.7.12.

Armando a vigota consegue-se compensar o esforço cortante, o atrito e o esmagamento, ficando os reforços de borda ancorados aos elementos estrutúrais da ponte. Os problemas têm sido falhas do elastômero e sempre é necessário tempo suficiente para a cura da argassa, e assim colocar em serviço a ponte.

- De Polímero Asfáltico (Figura 9.7.13)

São chamadas genericamente juntas elásticas, e têm sido muito utilizadas como juntas de reposição até em grandes viadutos, e em obras novas são excelentes para movimentos de até 6 cm, porém não aceitam movimentos verticais. São de instalação rápida e colocação em serviço, completamente impermeáveis, proporcionam conforto, segurança e comodidade para o usuário da ponte.

A junta não deve ter uma espessura menor que 8 cm, a diferença deve ser suprida com graute expansivo de nivelamento. A junta combina o uso de chapas metálicas de reforço ou distribuição, que suportam a carga viva, e sobre elas um polímero asfáltico modificado com agregado dosado, misturado e lançado no local. As mais conhecidas são a "JME-60" da Composan Construcción, da Espanha, a "Expandex" da Watson Bowman ACME (Telcons Ingenieros S.A) e a "Proflex Spandec" da E.C.S.I do Reino Unido.

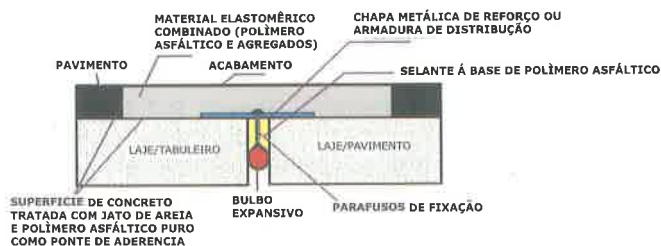



Figura 9.7.13.

- De Silicone (Figura 9.7.14)

Estas são juntas com corpo-de-apoio e silicone como selante ou elastômero. São utilizadas para trabalhar em pontes cujas juntas não excedam movimentos maiores que 1½" (38 mm) e pequenos vãos. O silicone deve ser instalado em lugares onde as temperaturas não ultrapassam os 32 °C e não são menores que 4 °C. São muito econômicas, completamente impermeáveis e duráveis. O tempo de secagem total do material é em torno de 48 horas. Devem ser preparados os reforços de borda paralelos a ambos os lados da abertura, de concreto 35 MPa ou graute expansivo, que formam um nicho para receber o perfil de borracha e selar com silicone.

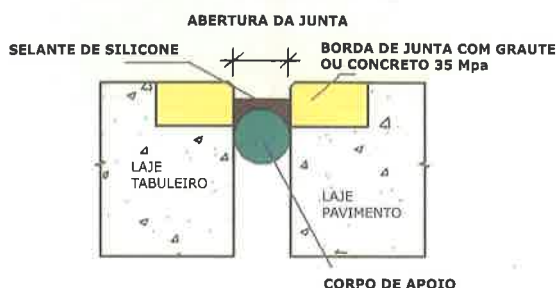



Figura 9.7.14.

- Armada com Topo de Aço e Selante Elastomérico (Figura 9.7.15)

Os reforços de borda são feitos com cantoneira tipo "L" de 10cm x10cmx1cm, em todo o comprimento da borda, para resistir as cargas a que a junta está submetida, com movimentos entre 1½" (38 mm) e 2" (50 mm). O problema apresentado é o desgaste da resina que serve de fôrma perdida entre as faces do reforço de borda que, ao falhar, causa a falha rápida do elastômero, gerando permeabilidade na junta (Prof. E. GONZALEZ).

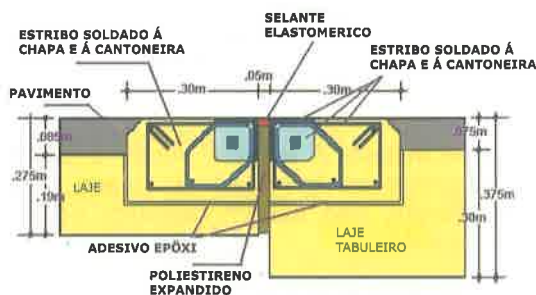



Figura 9.7.15.

- Armada com Cobre-Juntas e Selante Elastomérico (Figura 9.7.16)

  É uma junta com reforços de borda de concreto 30 MPa, que contêm uma cantoneira de 10cm x10cmx1cm soldada a um cobre-junta que se movimenta com uma folga de 1" (25 mm), sobre uma abertura preenchida com resina na base e selada com elastômero com capacidade para absorver pequenos movimentos e conferir impermeabilidade. São juntas que geram ruído e devem ser desmontadas para manutenção do elastômero

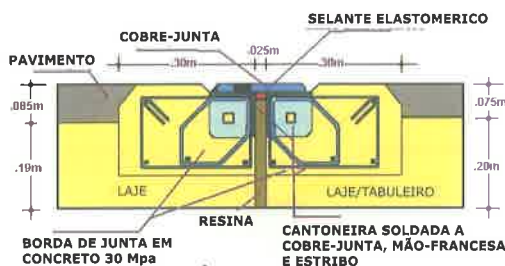



Figura 9.7.16.

3. Juntas Pré-moldadas (Pré-formadas)

- Com selante em"V" (Figura 9.7.17)

  São encontradas em algumas pontes, absorvendo movimentos de até 4" (100 mm).

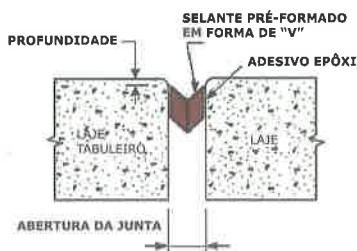



Figura 9.7.17.

  São fáceis de instalar e manter, sendo a abertura selada com um perfil de neoprene em forma de "V" colado com adesivo epóxi. Não são caras. Porém, não exitem registros de serviço por serem de utilização recente.

- De Selante de Neoprene (Figura 9.7.18)

  São uma alternativa para a substituição de juntas existentes em pontes de tramo médio e longo, permitindo os movimentos totais

de 1½» (38 mm) a 13" (330 mm). A vantagem deste tipo de junta é que as placas metálicas estriadas colocadas face ao pavimento sob o selante melhoram a resistência da junta para absorver carga, atrito e desgaste. Os problemas apresentados comumente são infiltrações entre os segmentos, perda de sustentação e ruído excessivo. A seguir, mostra-se um gráfico que permite selecionar a junta de neoprene conhecendo-se o deslocamento total e a excentricidade da ponte.

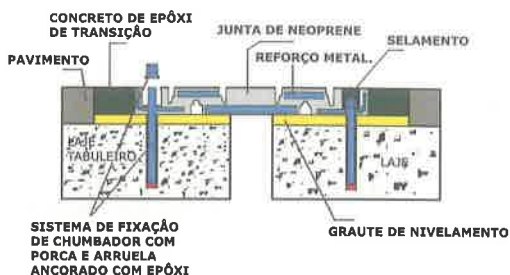



Figura 9.7.18.

- De Selante a Compressão (Figura 9.7.19)

São juntas populares onde o selante é de neoprene e suporta movimentos de 1" (25 mm) até 4" (100 mm). Entre suas vantagens estão a variedade de opções, sua impermeabilidade relativa, facilidade de instalação e custo. O sucesso depende da qualidade da instalação, da correta escolha das dimensões do selante, já que é sensível ao ozônio.

Figura 9.7.19.

- De Placa Dentada (Figura 9.7.20)

Tem sido utilizada em pontes de tramos médios e longos. Adaptam-se a movimentos totais de 4" (100 mm) até 24" (600 mm), sendo esta sua maior vantagem, e sua desvantagem é o possível acúmulo de detritos e terra, que obstruem o canal de movimentação, abertura e fechamento, da junta.

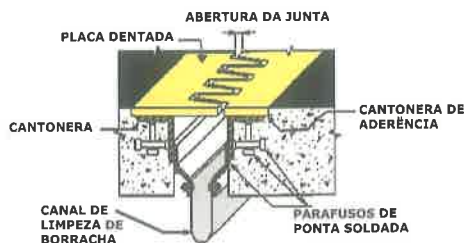



Figura 9.7.20.

- De Placa de Dente de Serra (Figura 9.7.21)

Aplicada em pontes de tramo médio, com movimentos totais de 3" (mm). Sua vantagem é a manutenção, pela facilidade de substituição, soldando facilmente as placas de aço de cada dente. Sua desvantagem é que não possui um sistema de canal para a coleta da água e detritos.

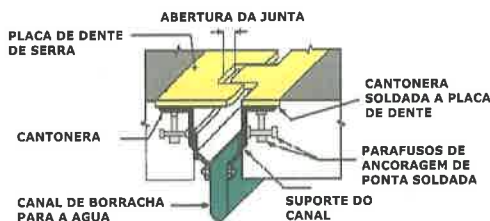



Figura 9.7.21.

- Juntas Moduladas (Figura 9.7.22)

Constituem o estado da arte para ajustar movimentos complexos de até 1,20 m em pontes de vãos longos e curvos. O sistema de juntas modulares tem três componentes principais, os selantes, as vigas separadoras (para os selantes) e suas barras de apoio (para as vigas separadoras). Os selantes e vigas separadoras formam uma superfície impermeável, ajustando deformações estáticas e dinâmicas quando os selantes sofrem deformação.

As vigas separadoras são metálicas estriadas ou laminadas e permitem a união da série de selantes.

As barras de suporte liberam a abertura da junta, e os extremos das barras se ajustam a um sistema de fixação compressível.

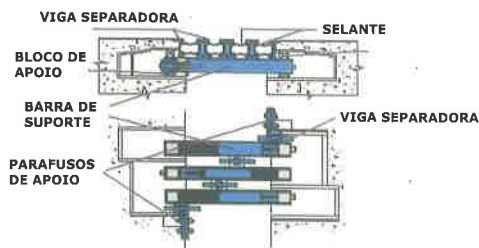



Figura 9.7.22.

Este sistema é composto de dois blocos de poliuretano ou elastoméricos. Um bloco descansa sobre o topo da barra de suporte e o segundo bloco se ajusta debaixo, e ambos ficam unidos à cobertura no topo. A grande vantagem desta junta é que permite grandes movimentos não paralelos, horizontais, recalques diferenciais, rotações e cisalhamentos.

Suas desvantagens são o ruído produzido sob carga viva de tráfego, as infiltrações de água e o acúmulo de detritos nas conexões dos selantes elastoméricos.

- Com Placas Deslizantes (Figura 9.7.23)

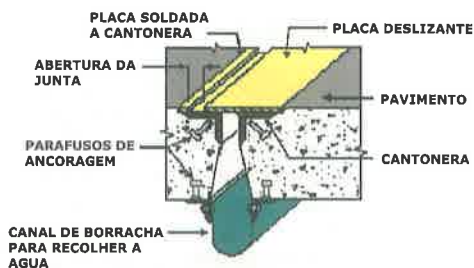



Figura 9.7.23.

São utilizadas freqüentemente em pontes médias, ajustando-se a movimentos totais de 4" (100 mm). Sua grande vantagem é que restringe a passagem de água a um mínimo, porém com o tempo a placa deslizante tende a escapar, causando a deterioração de todos os elementos adjacentes à junta.

- Com Selante de Expansão (Figura 9.7.24)

Nesta junta o selante deve ser colocado de forma contínua, sendo que qualquer mudança de direção deve ser feita usando elementos pré-fabricados, já que não é permitida a execução de conexões no canteiro.

A forma de funcionamento da junta é muito parecida à da junta de compressão, porém ela tem uma disposição interna para absorver bem os esforços de expansão. As cantoneiras de suporte devem ter sido já instaladas durante a concretagem do elemento estrutural. Se isto não for possível, deverá ser considerada a construção de reforços de borda.

Para a instalação do selante de expansão, suas faces laterais são coladas com epóxi. Os elementos de neoprene são de fácil reposição, porém as cantoneiras podem fraturar-se com o impacto dos veículos. São utilizadas em pontes com movimentos de até 4" (100 mm). O fabricante mais importante deste tipo de junta é a Watson Bowman Acme.

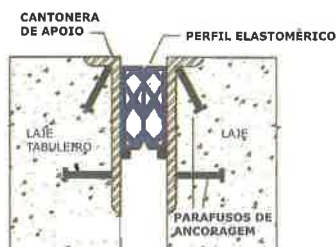



Figura 9.7.24.

- De Selante em Perfil ou Banda (*Strip Seal*) (Figura 9.7.25)

  São juntas com bons registros de desempenho, comparáveis às juntas de compressão e expansão de neoprene, sendo que o perfil de maior dimensão pode proporcionar até 5" (mm) de movimentação lateral. O perfil é um elemento elastomérico pré-moldado contínuo, trabalhado mecanicamente em um reforço de borda de aço de alta resistência em ambos os lados da junta. As bases de aço ficam fixas à estrutura da ponte por uma ancoragem de forma senoidal dentro do reforço de borda feito com graute ou argamassa sintética.

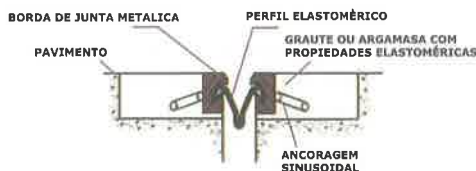



Figura 9.7.25.

São utilizados em ambientes quimicamente agressivos e são impermeáveis. Quando são previstos movimentos transversais da placa, o desempenho é melhor que o dos selantes de compressão. Se a escolha do tamanho ou tipo de selante não for acertada, a junta se estraga e fica inoperante rapidamente.

- De Selante de Lâmina (Figura 9.7.26)

O selante de lâmina funciona em tração ou compressão. Pode acomodar facilmente movimentos totais de até 4" (100 mm). Tem a capacidade de acomodação de variações direcionais e torções na configuração da junta, e freqüentemente dispensa conexões. Este tipo de selante falha no sistema de ancoragem com os impactos repetitivos de carga viva.

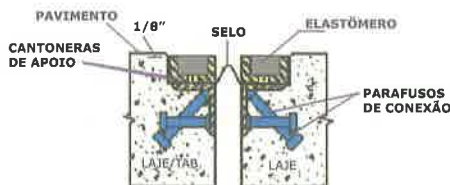



Figura 9.7.26.

4. Juntas Mistas - Especiais

- Mista tipo Aceroton (Figura 9.7.27)

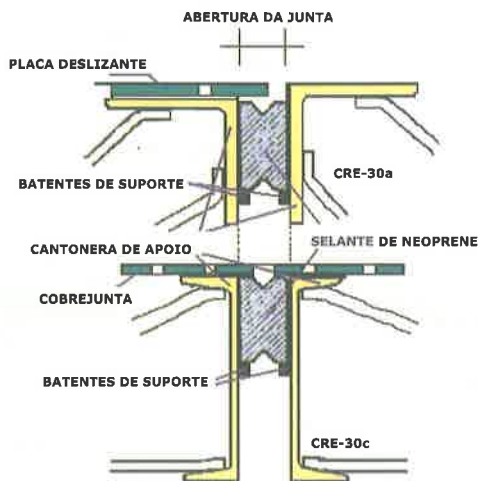



Figura 9.7.27.

Existem duas versões desta junta, a primeira forma um selante de compressão-expansão como base, auxiliado por uma placa deslizante. A segunda tem o mesmo selante de compressão-expansão como base e um cobre-junta que a protege. É impermeável e de bom funcionamento, porém pode ser muito ruidosa e pouco confortável. Comporta movimentos de até 4" (100 mm).

- Mista tipo Evalinca 01

  É uma junta extrema utilizada para conectar a estrutura com a laje de acesso à ponte. São combinadas uma junta de polímero asfáltico na parte superior e uma junta aberta reforçada nas bordas, conectada ao aço dos elementos estruturais. É impermeável e comporta movimentos até 2" (50 mm).

- Mista tipo Evalinca 02 (Figura 9.7.28)

  Foi desenvolvida para trabalhar como junta externa, sendo a combinação de junta armada com reforços de borda com vigas soldadas à armadura do bloco de reforço. Esta armadura une-se a uma cantoneira na borda da junta, que é preenchida com resina e selada com elastômero em forma de perfil tubular ou cordão, e tapada com um cobre-junta soldado a uma das cantoneiras para que possa deslizar. Em seguida, combina-se com uma junta de polímero asfáltico, arrematando a superfície do pavimento. Trata-se de uma junta impermeável e que satisfaz amplamente os requisitos de desempenho, com movimentos de até 1"(25 mm). Possui custo elevado.

- Mista tipo Evalinca 03 (Figura 9.6.29)

  Tem sido recomendada para ser utilizada em juntas de pontes em rodovias, e consiste em sua base de uma junta deslizante fixada por parafusos na parte inferior, coberta por uma junta de polímero asfáltico.

  É uma junta completamente impermeável e que suporta movimentos horizontais de até 2" (50 mm).

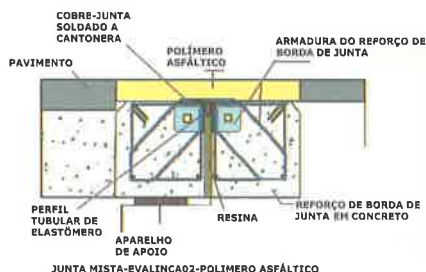



Figura 9.7.28.

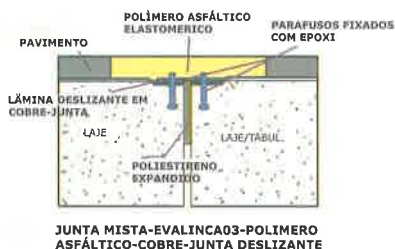



Figura 9.7.29.

Conclusões e Recomendações

Neste trabalho procurou-se mostrar todos os tipos de juntas utilizados na Venezuela, Europa e Estados Unidos, relacionando as vantagens e desvantagens na utilização. Isto significa que, de acordo com suas

próprias características, um tipo de junta pode adaptar-se melhor que outro a uma obra específica. Consideramos que este compêndio pode ser de grande utilidade para os organismos e profissionais que fazem as recomendações técnicas, os fiscais e as empresas especializadas de construção, que são os que verdadeiramente compreendem sua importância e valorizam a necessidade do funcionamento adequado das mesmas.

É preciso levar em conta que o trabalho de juntas não movimenta altos volumes de concreto, porém significa a execução de elementos com muitos detalhes técnicos de projeto e execução. Em tal sentido, propõem-se as seguintes recomendações:

- Destacar as necessidades da manutenção das juntas, para garantir seu desempenho adequado.
- Deixar bem claro que a seleção do tipo de junta deve ser feita com o conhecimento das deformações reais do sistema estrutural, e não deve apenas seguir um procedimento isolado.
- Procurar uma relação estreita e consulta permanente entre o engenheiro calculista e os engenheiros construtores para que a execução se realize e a estrutura tenha um desempenho conforme seus requisitos.
- Propõe - se um programa prioritário de avaliação, reparo ou reconstrução de juntas como uma necessidade na preservação das estruturas das pontes e para dar um melhor conforto e segurança aos usuários.
- Recomendar à Dirección de vialidad del Ministerio de Infraestructura a elaboração de um Manual para a concepção, reparo e construção de juntas de pontes.

9.8 Procedimento de Instalação de Juntas de Expansão Pré-Moldadas ou Pré-Instaladas

9.8.1 Exemplo1 - Juntas de elastômero armado ancoradas em Pontes Novas [15]

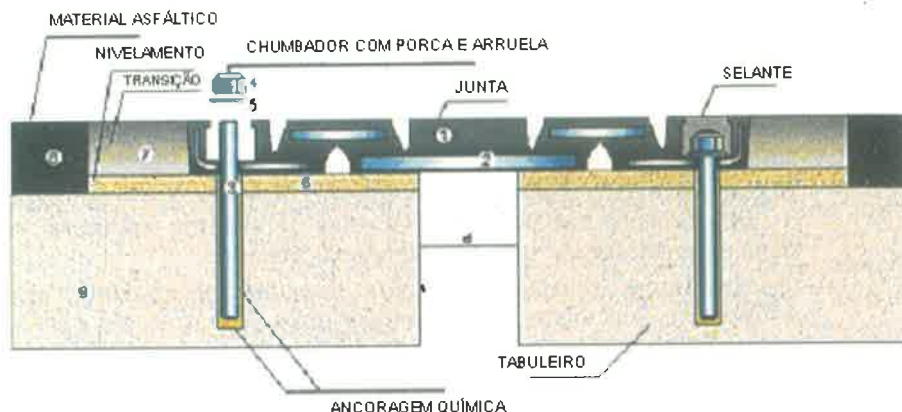
Desenho esquemático (Figura 9.9.1)

1. MATERIAL ELASTOMÉRICO À BASE DE CLOROPRENO
2. CHAPAS DE AÇO
3. PARAFUSOS DE ANCORAGEM AO AÇO
4. PORCA AUTOBLOCANTE
5. ARRUELA ZINCADA
6. ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO
7. CAMADA DE TRANSIÇÃO
8. PAVIMENTO ASFÁLTICO
9. CONCRETO ESTRUTURAL

Figura 9.8.1- Desenho esquemático de juntas de expansão de neoprene.

São constituídas de um perfil de material elastomérico, normalmente uma mistura de elastômeros de base cloropreno, formuladas adequadamente para dar elasticidade, resistência e durabilidade à mesma. Dentro desta encontram-se reforços metálicos de aço, que lhe conferem rigidez e resistência necessárias para transmitir as cargas do tráfego e impedem sua curvatura ao absorver os movimentos. O conjunto é ancorado com parafusos aos bordos da estrutura.

Os parafusos de ancoragem de aço são fixados à estrutura com resinas epóxi, e são apertados com arruelas zincadas e porcas auto-atarraxantes.

As cabeças das ancoragens ficam alojadas em furos previstos nas bordas e, uma vez apertadas, ficam seladas para proporcionar continuidade de rodagem.

Tabela 9.8.1 Seqüência completa do processo de aplicação [13].

<table>
<tr><td></td><td>No canteiro de obras, verificar onde será instalada a junta na estrutura, conferindo a locação da mesma e marcando em ambos os lados do eixo a largura de corte, procedendo ao corte com máquina de disco de diamante na profundidade adequada.</td></tr>
<tr><td>Em seguida, extrair o entulho do corte e preparar adequadamente a superfície do fundo da cavidade aplicando jato de areia ou apicoamento mecânico.</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>Com argamassa especial de alta resistência e tratamento prévio da superfície da cavidade (berço) da junta com adesivo para ponte de aderência, colocar uma capa de nivelamento até atingir uma cota pré-determinada, em função do tipo de junta a ser instalado.</td></tr>
</table>

Com argamassa especial de alta resistência e tratamento prévio da superfície da cavidade (berço) da junta com adesivo para ponte de aderência, colocar uma capa de nivelamento até atingir uma cota pré-determinada, em função do tipo de junta a ser instalado.

Após o endurecimento da argamassa, colocar os módulos centrados sobre a junta estrutural e marcar os pontos de ancoragem.

Marcados os pontos de ancoragem, retirar os módulos e executar as furações no tabuleiro para, posteriormente, fazer a ancoragem química dos parafusos. Após a cura da ancoragem, fazer a instalação definitiva dos módulos e proceder à colocação das arruelas, porcas, etc., com equipamento adequado.

Após a ancoragem da junta, fazer o preenchimento das regiões de transição junta-tabuleiro/pavimento empregando argamassa especial de natureza elástica. Ocasionalmente, poderá ser utilizada argamassa rígida hidraúlica ou à base de resina de breu ou epóxi.

Como arremate final, fazer o selamento das cavidades das ancoragens, serviço este que, em função das características da obra, poderá ser realizado com produtos de aplicação a frio ou a quente.

Finalmente, retirar os materiais, fazer a limpeza da obra e executar detalhes finais, retoques ou selamentos complementares, caso necessário.	

9.8.2 Exemplo 2 - Juntas com selo de expansão em fita para Reparo de Pontes [16]

Desenho esquemático(Figura 9.9.2)

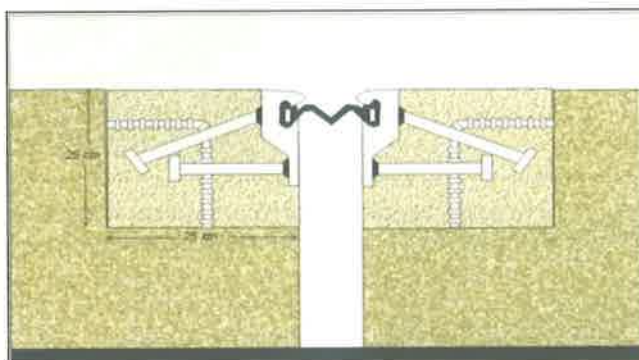



Figura 9.8.2- Desenho esquemático de junta com selo de expansión

Tabela 9.8.2 Seqüência completa do processo de aplicação.

	Preparar o local de trabalho tomando todas as medidas de segurança pertinentes (sinalização, barreiras, faixas, sinalizadores, entre outros)

Demolir a junta velha, deixando o reservatório da nova junta pronto, com uma cavidade de 15 cm de largura e 8 cm de profundidade de cada lado e ao longo da junta.	
Fazer a limpeza do reservatório (berço) da junta. Fazer a instalação e alinhamento da junta. Instalar o selante provisório (espuma de poliestireno) entre os perfis metálicos.	
	Preparar e colocar o concreto (argamassa) elastomérico.
Vista do reparo teminado.	

[1] PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. "Effects of substances on concrete and guide to protective treatment" Stockie, PCA, 1989. (concrete information)

[2] HELENE, Paulo R.L. Vida Útil das Estruturas de Hormigón. In: IV Congresso Ibero Americano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle da Qualidade CON PAT-97. 1997. v. 1, p. 1-30.

[3] EMMONS, Peter H., Concrete Repair and Maintenance Concerns. Part Five: Protection Surface Applied Protection. 1998

[4] CEN, EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARIZATION. Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity Part 1: General scope and definitions. EN 1504-1.1998 punto 3.3.1

[5] HELENE, Paulo R. L., Manual para Reparación, Refuerzo y Protección de las Estructuras de Hormigón. IMCYC, 1ª edición, cap. 6, p124

[6] UNIT, Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, Norma para Pinturas y Barnices. Determinación del valor del pH de las superficies de Hormigón tratadas con ácido o limpiadas con productos químicos para su pintado. UNIT 902-92

[7] UNIT, Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, Norma para Pinturas y Barnices. Determinación de la Presencia de Humedad en el Hormigón antes de su pintado. Método de la Lámina Plástica. UNIT 903-93

[8] UNIT, Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, Norma para Pinturas y Barnices. Limpieza de superficies de hormigón para su pintado. UNIT 898-92

[9] UNIT, Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, Norma para Pinturas y Barnices. Preparación de hormigón mediante abrasión para su pintado. UNIT 899-92
UNIT, Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, Norma para Pinturas y Barnices. Preparación de Hormigón mediante ataque superficial con ácido para su pintado. UNIT 900-92

[10] Publicación Técnica y Catalogo de Productos de **degusta MBT**. España. 2001

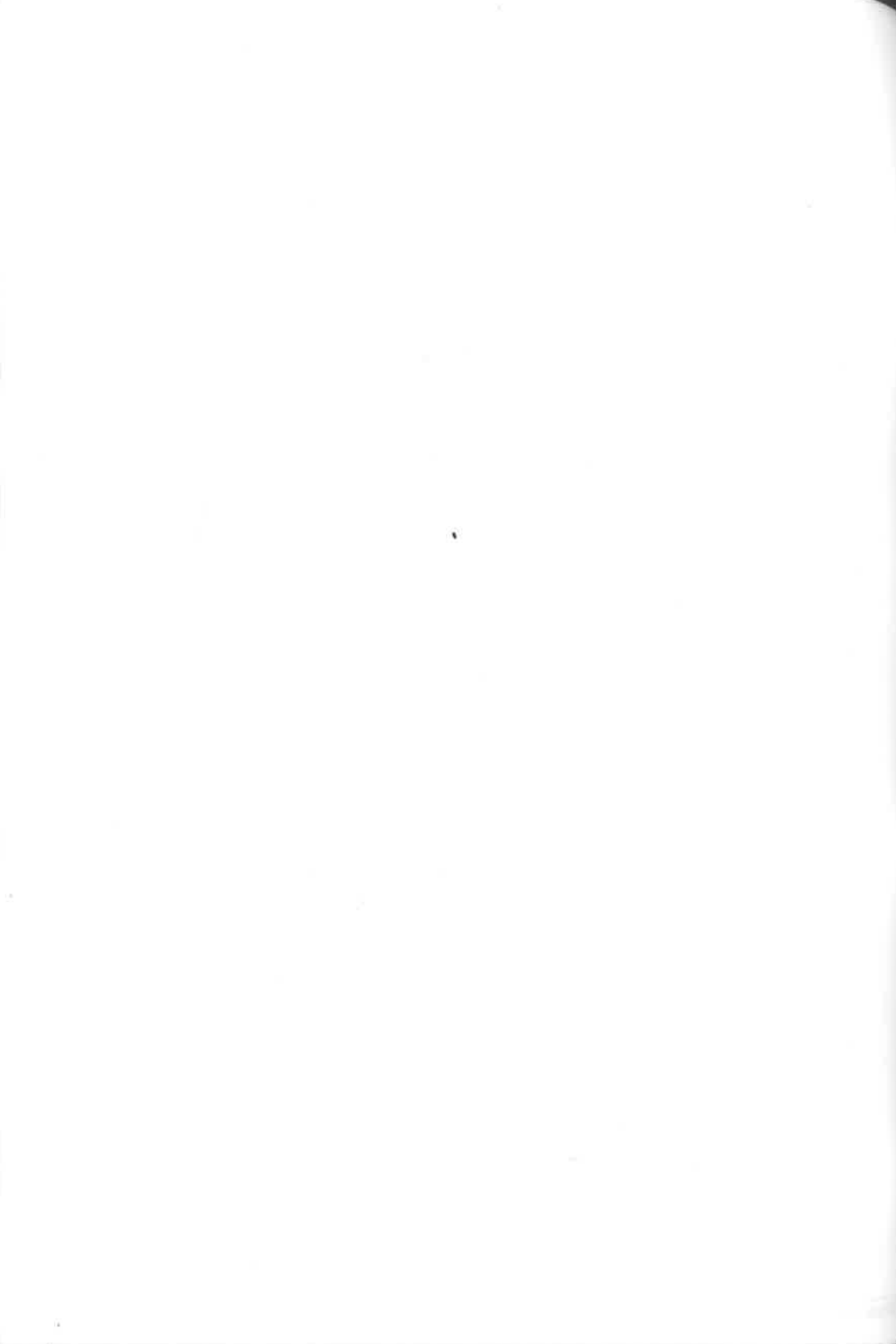
[11] Catalogo de Productos Sika. Intesika C.A. Venezuela. 1982

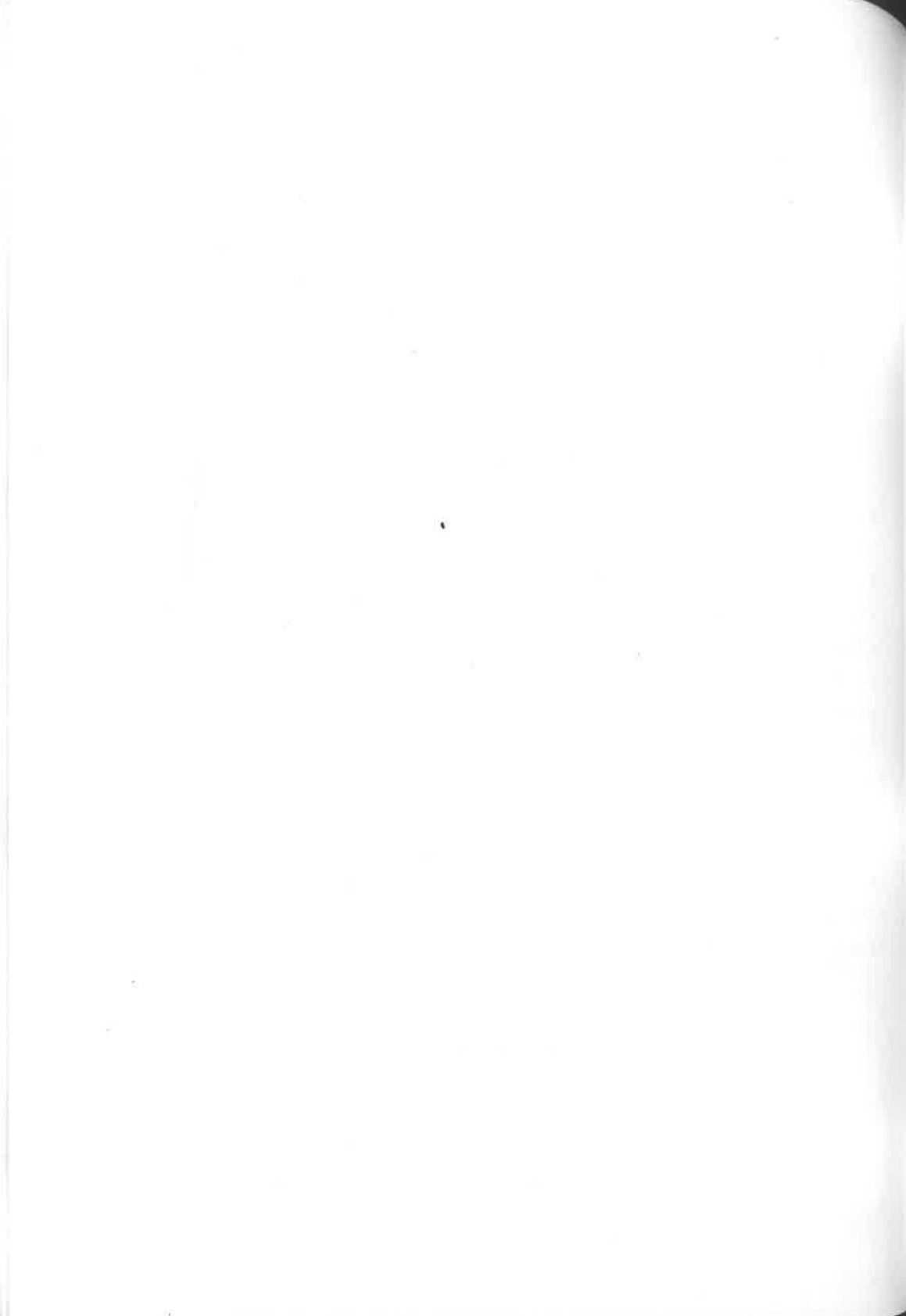
[12] Lobo Dugarte, W. Lobo Quintero, W. Las juntas de puentes: confort y seguridad vial. In: www.monografias.com, 2000
Demetrios E. Tonias, P.E. McGraw-Hill, Bridge Engineering. Design, Rehabilitation and Maintenance of Modern Highway Bridges. INC. 1995.

[13] Lobo-Quintero, W. Sismorresistencia de Puentes, Estado del Arte. Desastres Sísmicos en Desarrollo. IMME. UCV. Caracas 2000.

[14] Publicación Técnica y Catalogo de Productos de **degusta MBT**. España. 2001
Bridge Deck Expansion Joint
http.//gunsmoke.ech.purdue.edu/zayed/exjoint/index 1999
Juntas de Dilatación en Puentes. Telcons Ingenieros C.A. Caracas. 1999.

[15] Juntas para Puentes. Composan Construcción. http.//www.Composan.com. Sevilla 2000.

[16] Catalogo de Productos de Tecnoconcrete C.A., Venezuela. 1983

CAPÍTULO 10

Composição Unitária de Preço

CAPÍTULO 10

Composição Unitária de Preço

Autores
Paulo Helene

Salomon Mony Levy
Manuel Grullón

INTRODUÇÃO

Este capítulo objetiva fornecer os elementos básicos de referência de custo e produtividade dos serviços e sistemas relacionados à recuperação de estruturas de concreto. Naturalmente, não engloba a totalidade dos itens possíveis, porque os serviços de recuperação costumam ter muitas alternativas e a cada dia surgem novos sistemas e materiais destinados ao reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto.

Isto aqui é o resultado de três anos de trabalho de observação e medição de produtividade e gastos dos serviços de recuperação de estruturas, principalmente de edificações escolares de dois e três pavimentos, realizado no Estado de São Paulo, Brasil, de 1997 a 2001. Hoje em dia, tais índices já foram adotados pela maioria dos órgãos públicos do país para compor seus orçamentos e licitações. Também estão sendo cada vez mais utilizados em obras privadas para viabilizar uma forma mais objetiva e imparcial de fiscalização e medição dos serviços realizados.

É razoável pensar que a produtividade dos operários nos diversos países ibero-americanos seja diferente e que tais índices não devam ser adotados sem uma análise crítica[1].

---

[1]N.T.: O item **03. Concreto** do **TCPO**-Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (PINI) apresenta cotações para insumos em obras de recuperação estrutural, servindo como mais um instrumento à disposição do engenheiro brasileiro. Esta classificação PINI é moderna e lembra a classificação ***03. Concrete*** do *Master Format* utilizada no Norte.

Por outro lado, ter uma referência de composição unitária de preços de 76 serviços usuais em obras de recuperação pode ser muito conveniente para auxiliar em:

- obter um orçamento inicial/referencial dos trabalhos;
- orientar a fiscalização dos serviços;

viabilizar as medições dos serviços realizados de modo mais objetivo e único.

10.1 Procedimentos de Preparo do Substrato

10.1.1 Preparo do substrato por escarificação manual (corte de concreto), até 3,0 cm de profundidade [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Ajudante	h	15,00	1,32	19,80
Leis Sociais	%	129		25,54
Subtotal de Mão-de-obra e Leis sociais			A	R$ 45,34
Ferramentas/Equipamentos:				
Ponteiro	un.	0,050	2,66	0,13
Talhadeira	un.	0,080	2,66	0,21
Marreta de 2,0 kg	un.	0,013	4,62	0,06
Luvas de proteção	un.	0,005	2,63	0,01
Óculos de proteção	un	0,002	3,20	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,42
Custo unitário			A + B	R$ 45,76
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para preparar substratos por escarificação manual, deverá ser adotado o seguinte procedimento:

1. Escarificar de fora para dentro, evitando golpes bruscos que possam quebrar as arestas e contornos da região de reparo.
2. Retirar todo o material solto, mal vibrado e segregado, até atingir a região de concreto são, obtendo uma superfície rugosa e coesa, propiciando boas condições de aderência.
3. Deverão ser tomados os devidos cuidados para não comprometer a estrutura, procurando garantir que a espessura de escarificação se mantenha dentro do previsto.
4. Após a conclusão dos serviços de escarificação, é necessária a execução de limpeza com ar comprimido ou qualquer outro procedimento capaz de remover pó e partículas soltas.

Esta solução é recomendável quando as áreas a serem preparadas são pequenas e os locais de difícil acesso para equipamentos maiores, tais como marteletes elétricos ou pneumáticos.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima descrito, deverá ser determinada a área da poligonal circunscrita à superfície tratada, e seu valor expresso em m² (metro quadrado).

O preço unitário deste serviço remunera a mão-de-obra, o desgaste das ferramentas e equipamentos de segurança, assim como eventuais danos ou perdas de ferramentas específicas.

10.1.2 Preparo do substrato por escarificação com disco de desbaste, até 0,5 cm de espessura [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Operador Lixador	h	1,00	1,61	1,61
Ajudante	h	0,50	1,32	0,66
Leis Sociais	%	129		2,93
Subtotal de Mão-de-obra e Leis sociais			A	R$ 5,20
Ferramentas/Equipamentos:				
Politriz	h	1,000	0,50	0,50
Luvas de proteção	par	0,005	2,63	0,01
Óculos de proteção	un.	0,002	3,20	0,01
Cabo elétrico trifásico 3x 2,5	m	0,001	8,20	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,53
Material de Consumo:				
Disco de desbaste	un.	0.200	4,00	0,80
Suporte para disco	un.	0.020	6,00	0,12
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,92
Custo unitário			A + B + C	R$ 6,65
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para preparar substratos por desbaste da superfície, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Aplicar o disco sobre a superfície, efetuar o desbaste em camadas ou passadas cruzadas a 90°. Desbastar de cada vez uma espessura pequena mantendo uniformidade de espessura em toda a superfície.
2. A aplicação deste procedimento somente deverá ser executada por mão-de-obra especializada, já que este equipamento oferece elevado risco quando operado por pessoas não habilitadas.

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima apresentado, deverá ser determinada a área da poligonal circunscrita à superfície tratada e seu valor será expresso em m^2 (metro quadrado).

O preço unitário deste serviço remunera a mão-de-obra, o desgaste das ferramentas e equipamentos de segurança, assim como eventuais danos ou perdas de ferramentas específicas.

O escoramento eventual da estrutura será pago em separado.

10.1.3 Preparo do substrato por escarificação mecânica (corte de concreto), para espessuras de até 3,0 cm [m^2]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Operador de martelete	h	5,00	1,61	8,05
Ajudante	h	2,50	1,32	3,30
Leis Sociais	%	129		14,64
Subtotal de Mão-de-obra e Leis sociais			A	R$ 25,99
Ferramentas/Equipamentos:				
Rebarbador eletromecânico com ponteiro (Tipo Bosch 11206)	h	5,00	2,00	10,00
Luvas de proteção	par	0,005	2,63	0,01
Óculos de proteção	par	0,002	3,20	0,01
Cabo elétrico trifásico 3x 2,5	m	0,001	8,20	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 10,03
Custo unitário			A + B	R$ 36,02
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m^2				R$

Memorial Descritivo

Para preparar substratos por escarificação mecânica, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Escarificar de fora para dentro, evitando golpes bruscos que possam quebrar as arestas e contornos da região de reparo.
2. Retirar todo o material solto, mal vibrado e segregado, até atingir a região de concreto são, obtendo uma superfície rugosa e coesa, propiciando boas condições de aderência.
3. Quando houver necessidade, deverá ser previsto escoramento adequado da estrutura.
4. Deverão ser tomados os devidos cuidados para não comprometer a estrutura, procurando garantir que a espessura de escarificação se mantenha dentro do previsto.

5. Após a conclusão dos serviços de escarificação, é necessária a execução de limpeza com ar comprimido ou qualquer outro procedimento capaz de remover pó e partículas soltas.

A aplicação deste procedimento não requer mão-de-obra especializada (qualificada). Este sistema é particularmente indicado em casos de grandes áreas a serem tratadas, desde que não haja necessidade de atingir espessuras superiores a 3 cm.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima descrito, deverá ser determinada a área da poligonal circunscrita à superfície tratada, e seu valor expresso em m^2 (metro quadrado).

O preço unitário deste serviço remunera a mão-de-obra, o desgaste de ferramentas, equipamentos de segurança, a depreciação do rebarbador eletromecânico (martelete), assim como eventuais danos ou perdas de ferramentas específicas.

O escoramento eventual da estrutura será pago em separado.

10.1.4 Preparo do substrato por demolição com uso de martelete pneumático, para espessuras de até 5,0 cm [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Operador de martelete	h	5,00	1.61	8,05
Ajudante	h	1,50	1.32	1,98
Leis Sociais	%	129		12,94
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 22,97
Ferramentas/Equipamentos:				
Compressor (250 p.c.m) com 2 marteletes (Hilti, Bosch) 20, mangueiras e filtros de série	h	2,500	12,64	31,60
Protetor auricular	un.	0,005	7,55	0,04
Luvas de proteção	par	0,005	2,63	0,01
Óculos de proteção	un.	0,002	3,20	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 31,66
Material de Consumo:				
Combustível (Diesel)	L	5,00	0,40	2,00
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 2,00
Custo unitário			A + B + C	R$ 56,63
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m^2				R$

Memorial Descritivo

Para preparar substratos utilizando o processo de demolição com marteletes pneumáticos, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Retirar todo o material solto, mal compactado e segregado, até atingir o concreto são.
2. Sempre que necessário, prever escoramento adequado e tomar todos os cuidados possíveis de forma a não comprometer a estrutura.
3. Após a escarificação é necessário proceder à limpeza com ar comprimido para a remoção das partículas de pó.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados, deverá ser determinada a área da estrutura realmente demolida, e o valor expresso em m² (metro quadrado).

O preço unitário deste serviço remunera a mão-de-obra, o desgaste das ferramentas e equipamentos de segurança, a depreciação do compressor e dos marteletes pneumáticos, assim como eventuais danos ou perdas de ferramentas específicas.

O escoramento eventual da estrutura será pago em separado.
A taxa de mobilização e desmobilização do equipamento deverá ser incluída no B.D.I.

10.1.5 Preparo do substrato por lixamento manual [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial		
Mão-de-obra:						
Ajudante	h	0,40	1,32	0,53		
Leis Sociais	%	129		0,68		
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais				A	R$	1,21
Ferramentas/Equipamentos:						
Luvas de proteção	par	0,005	2,63	0,01		
Óculos de proteção	un.	0,002	3,20	0,01		
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos				B	R$	0,02
Material de Consumo:						
Papel de lixa (ferro)	folha	0,50	1,00	0,50		
Subtotal de Material de Consumo				C	R$	0,50
Custo unitário			A + B + C	R$		1,73
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$		
Valor unitário do serviço por m² de concreto tratado				R$		

Memorial Descritivo

Para preparar substratos por lixamento manual, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Esfregar a lixa com movimentos circulares enérgicos sobre a superfície a ser tratada.
2. No caso em que as barras de aço ficaram expostas após a escarificação do concreto, deve-se procurar obter a condição de preparo da barra conhecida como "metal branco".

Este procedimento dispensa o emprego de mão-de-obra especializada, e é indicado para tratamentos localizados em pequenas áreas onde é necessária a regularização da superfície.

Devido a exigir controle cuidadoso por parte da fiscalização, não é recomendado para aplicação em grandes áreas muito contaminadas por fuligem.

Não é aplicado quando é necessário remover camadas de tinta ou verniz do substrato, já que o mesmo não é capaz de retirar estas películas.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima descrito, deverá ser determinada a área efetivamente lixada, e seu valor deverá ser expresso em m^2 (metro quadrado).

O preço unitário para a execução deste serviço remunera as folhas de lixa, e toda mão-de-obra necessária tanto para o lixamento da superfície do concreto como das barras de aço expostas na superfície.

10.1.6 Preparo do substrato por lixamento elétrico [m^2]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Operador Lixador	h	0,30	1,61	0,48
Ajudante	h	0,10	1,32	0,13
Leis Sociais	%	129		0,79
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 1,40
Ferramentas/Equipamentos:				
Lixadeira industrial	h	0,300	0,50	0,15
Luvas de proteção	pç.	0,005	2,63	0,01
Óculos de proteção	pç.	0,002	3,20	0,01
Máscara antipó	pç.	0,005	3,00	0,02
Cabo trifásico 3x2,50 mm	m	0,001	8,20	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,20
Material de Consumo:				
Disco de lixa	un.	0,250	1,80	0,45
Disco de borracha	un.	0,025	4,20	0,10
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,55
Custo unitário			A + B + C	R$ 2,15
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m^2				R$

Memorial Descritivo

Para preparar substratos por lixamento elétrico, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Procurar manter a lixadeira paralela à superfície em tratamento, executando movimentos circulares e homogêneos.
2. Esfregar a lixa com movimentos circulares enérgicos sobre a superfície a ser tratada, não concentrar esforços nas áreas que apresentem maior deterioração, pois este procedimento acabará marcando a estrutura e danificando o aspecto visual da mesma.

Para a aplicação deste procedimento é necessário o emprego de mão-de-obra especializada, sendo indicado para tratamentos em grandes áreas em que exista a necessidade de remoção das impurezas e eflorescências existentes, ou a uniformização da superfície para posterior tratamento. Poderá ser empregado também para o tratamento de superfícies metálicas para a remoção de corrosão em estruturas metálicas.
Devido à grande quantidade de pó gerada é imprescindível o uso de máscara antipó pelo operador.
O disco de lixa a ser utilizado deverá ser n° 24 a 36 para lixamento grosso, ou n° 100 a 120 para lixamento fino.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo apresentado, deverá ser medida a área efetivamente lixada e seu valor expresso em m² (metro quadrado). A área determinada será considerada uma vez para o lixamento grosso e outra vez para o lixamento fino quando for o caso.

O preço unitário para a execução deste serviço remunera os discos de lixa, toda a mão-de-obra necessária para o lixamento da superfície de concreto, equipamentos de segurança e proteção, e a depreciação da lixadeira necessária para a execução dos serviços.

10.1.7 Preparo do substrato por escovamento manual [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Ajudante	h	0,50	1.32	0,66
Leis Sociais	%	129		0,85
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 1,51
Ferramentas/Equipamentos:				
Luvas de proteção	par	0,005	2,63	0,01
Óculos de proteção	un.	0,002	3,20	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,02
Material de consumo:				
Escova retangular com cerdas de aço	un.	0,25	4,60	1,15
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 1,15
Custo unitário			A + B + C	R$ 2,68
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para preparar substratos por escovamento manual, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Escovar a superfície até conseguir a completa remoção das partículas ou qualquer outro material indesejável.

2. Quando o substrato sendo preparado contiver armadura oxidada, a escova deverá ser esfregada energicamente sobre as barras de aço, de forma a serem removidos os produtos de corrosão presentes nas mesmas.

Para a aplicação deste procedimento não há necessidade de emprego de mão-de-obra especializada, e ele é especialmente recomendado para o preparo de superfícies de pequenas dimensões, em locais de fácil acesso, quando houver a necessidade de remoção de produtos de corrosão incrustados nas armaduras.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima descrito, deverá ser determinada a área efetivamente lixada e esta será expressa em m² (metro quadrado).

O preço unitário para a execução deste serviço remunera a mão-de-obra, as escovas de aço e eventuais papeis de lixa que possam ser necessários para a perfeita execução dos serviços, assim como os equipamentos de segurança necessários.

10.1.8 Preparo do substrato com utilização de pistola de agulha [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Operador de pistola	h	1,50	1,61	2,42
Leis Sociais	%	129		3,12
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 5,54
Ferramentas/Equipamentos:				
Pistola electromecânica	h	1,500	0,56	0,84
Luvas de proteção	par	0,005	2,63	0,01
Óculos de proteção	un.	0,002	3,20	0,01
Cabo elétrico trifásico 3x 2,5	m	0,001	8,20	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,87
Material de Consumo				
Jogo de agulhas para pistola eletromecânica	un.	0,001	60,00	0,06
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,06
Custo unitário			A + B + C	R$ 6,47
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para preparar substratos com utilização de pistolas dotadas de agulhas, é necessário adotar os seguintes procedimentos:

Colocar a pistola em contato com a armadura ou chapa metálica até que seja retirado todo o produto de corrosão ou tinta; nesta operação deverá ser evitado o contato das agulhas

com a superfície do concreto, pois o mesmo causa danos irreparáveis às agulhas.

Para a aplicação deste procedimento é necessário o emprego de mão-de-obra especializada. É recomendado especialmente para a preparação de superfícies de pequenas a médias, nos casos indicados a seguir:

1. Em estruturas metálicas, quando houver a necessidade de executar uma perfeita remoção dos produtos de corrosão, ou seja, obter a condição de preparo da barra conhecida como «metal branco», ou quando houver a necessidade de remoção de películas de pintura.
2. Em estruturas de concreto armado, quando houver a necessidade da retirada de produtos de corrosão incrustados nas barras de aço.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima descrito, deverá ser determinada a área efetivamente lixada e esta será expressa em m² (metro quadrado).

O preço unitário para a execução deste serviço remunera a mão-de-obra, a depreciação da pistola, o desgaste das agulhas, cabos elétricos e equipamentos de segurança necessários para a execução dos serviços.

10.1.9 Preparo do substrato com utilização de jato de areia seca [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Operador do jato	h	0,35	1,61	0,56
Ajudante do operador do jato	h	0,48	1,32	0,63
Leis Sociais	%	129		1,53
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 2,72
Ferramentas/Equipamentos:				
Compressor de ar 250 pcm	h	0,120	9,00	1,08
Máquina de jato de areia com reservatório acoplado, mangueiras de alta pressão e filtro.	h	0,360	3,50	1,26
Ponta direcional 5/16"	pç.	0,002	135,00	0,27
Roupa do operador de jato	un.	0,002	36,00	0,07
Máscara de proteção	pç.	0,002	16,00	0,03
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 2,71
Material				
Areia seca especial para jato	kg	82,00	0,07	5,74
Combustível (Diesel)	L	0.425	0,40	0,17
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 5,91
Custo unitário			A + B + C	R$ 11,34
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para preparar substratos por jato de areia seca, é necessário adotar os seguintes procedimentos:

1. Manter a ponta do jato em posição ortogonal à superfície de aplicação, a uma distância de 1,0 m e movê-lo constantemente em círculos, distribuindo uniformemente o material para uma melhor remoção de todos os resíduos que possam vir a prejudicar a aderência com a futura camada protetora.
2. Para a aplicação deste procedimento é necessário o emprego de mão-de-obra especializada, sendo indicado para tratamentos em grandes áreas e locais angulosos onde exista a necessidade de remoção de todas as impurezas, ou a uniformização da superfície escarificada para posterior tratamento, ou para a remoção de pinturas de superfícies; poderá ser empregado também para tratamento de superfícies metálicas para a remoção de crestas de corrosão, desde que a grande quantidade de pó generado não constitua problema.

É imprescindível a utilização de equipamentos especiais de proteção, assim como roupas e máscaras pelo operador do jato (EPI's).

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços de jato executados de acordo com o memorial descritivo acima apresentado, deverá ser determinada a área efetivamente jateada e seu valor será expresso em m² (metro quadrado).

O preço unitário deste serviço remunera a mão-de-obra, a depreciação do compressor e das máquinas de jato, das roupas especiais e os equipamentos de proteção necessários para a execução dos serviços.

A taxa de mobilização e desmobilização do equipamento deverá ser incluída no B.D.I.

10.1.10 Demarcação da área de reparo com disco de corte [m]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	0,10	1,61	0,16
Ajudante	h	0,10	1,32	0,13
Leis Sociais	%	129		0,37
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 0,66
Ferramentas/Equipamentos:				
Luvas de proteção	un.	0,002	3,20	0,01
Óculos de proteção	un.	0,005	3,63	0,01
Máquina de corte	h	0,10	0,20	0,02
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,04
Material de Consumo:				
Disco de corte diamantado	un.	0,020	18,00	0,36
Cabo elétricos trifásico 3x2,50	m	0,001	8,20	0,01
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,37
Custo unitário			A + B + C	R$ 1,07
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m				R$

Memorial Descritivo

Para delimitação do substrato utilizando serras circulares manuais dotadas de disco de corte, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Procurar manter o disco em posição ortogonal à superfície.
2. Antes de iniciar a operação, delimitar o contorno da região de reparo com lápis (giz) de cera.

A operação da máquina de corte, por tratar-se de equipamento delicado, exige mão-de-obra especializada, sendo indicada para a retirada de protuberâncias, delimitação do contorno das áreas de reparos e aberturas de ranhuras para o tratamento de fissuras. Este procedimento requer cuidados especiais no que diz respeito ao controle da espessura de corte, para não danificar estribos ou armaduras principais.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima apresentado, deverá ser determinado o perímetro da figura que delimita a área dos serviços a serem executados, e seu valor expresso em metro (m) de corte realmente executado.

O preço unitário para a execução deste serviço remunera a mão-de-obra, a depreciação da serra circular, o desgaste do disco diamantado e a utilização dos cabos elétricos necessários para a execução dos serviços.

10.1.11 Preparo do substrato por queima controlada [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	1,00	1,61	1,61
Ajudante	h	0,50	1,32	0,66
Leis Sociais	%	129		2,93
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 5,20
Ferramentas/Equipamentos:				
Luvas de proteção	pç.	0,002	3,20	0,01
Óculos de proteção	pç.	0,005	2,63	0,01
Maçarico	pç.	0,002	25,00	0,05
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,07
Material de Consumo:				
Gás	kg	0,200	0,75	0,15
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,15
Custo unitário			A + B + C	R$ 5,42
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para preparar substratos pelo processo de queima controlada, é necessário adotar o seguinte procedimento:

Dirigir o bico de chama de forma a facilitar a retirada das camadas de concreto desagregadas. Procurar não manter por muito tempo a mesma posiçao para não aquecer em demasia a superfície do concreto e retirar incorretamente partes sãs da estrutura.

Para a aplicação deste procedimento é necessário o emprego de mão-de-obra especializada, além de rigoroso controle de qualidade por parte da fiscalização, sendo indicado para tratamentos em áreas onde não haja armadura exposta ou onde os revestimentos sejam superiores a 30 mm.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima apresentado, deverá ser determinada a área efetivamente queimada, e esta será expressa em m² (metro quadrado).

O preço unitário para a execução deste serviço remunera a mão-de-obra direta, as ferramentas, o material necessário e os equipamentos de segurança a serem utilizados na execução destes serviços.

10.1.12 Preparo de substratos impregnados com óleos e graxas, através da aplicação de solventes [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Ajudante	h	0,33	1,32	0,44
Leis Sociais	%	129		0,56
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 1,00
Ferramentas/Equipamentos:				
Broxa	pç.	0,005	3,00	0,01
Pincel	pç.	0,005	2,25	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,02
Material de Consumo:				
Removedor de graxas à base de solventes de alta penetração, não corrosivo. Tipo Thinner 7810 DB.	L	0,50	1,50	0,75
Mangueira para lavagem 30 m	pç.	0,001	60,00	0,06
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,81
Custo unitário			A + B + C	R$ 1,83
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para preparar substratos onde existam óleos e graxas impregnados na superfície, em profundidades maiores que 3 mm, será necessária a remoção prévia do concreto contaminado utilizando um dos procedimentos descritos nos itens seguintes:

10.1.3 Escarificação mecânica
10.1.4 Demolição
10.1.11 Queima controlada

Para o caso de óleo impregnado a pequena profundidade:

1. Aplicar sobre a superfície o removedor e limpador à base de solventes de alta penetração, não corrosivo e adequado para estes fins.
2. Aguardar até a evaporação final, repetir a operação caso julgar necessário.
3. Imediatamente após, lavar com água em abundância para remover qualquer resíduo de solvente que eventualmente haja permanecido no local.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima apresentado, deverá ser determinada a área efetivamente tratada, e seu valor será expresso em m² (metro quadrado).

O preço unitário acima remunera pelos materiais e mão-de-obra necessários para a execução das operações de remoção de óleos e graxas do substrato impregnado.

Operações preliminares tais como as descritas nos itens *10.1.3 Escarificação mecânica*, *10.1.11 Queima controlada* ou eventualmente *10.1.4 Demolição* serão remuneradas em separado.

10.1.13 Preparo de substratos com utilização de máquinas de desbaste (fresa mecânica) [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Operador de fresadora	h	1,00	1,61	1,61
Ajudante	h	0,50	1,32	0,66
Leis Sociais	%	129		2,93
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 5,20
Ferramentas/Equipamentos:				
Luvas de proteção	pç.	0,002	3,20	0,01
Óculos de proteção	par	0,005	2,63	0,01
Fresadora e escarificadora mecânica (Tipo, mod. F-30 BETOMAQ)	h	1,00	2,30	2,30
Cabo elétrico 3x2,50	m	0,001	8,20	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 2,33
Custo unitário			A + B	R$ 7,53
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para preparar substratos com fresa mecânica ou escarificadora, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Pré-umedecer a superfície do concreto e mover o equipamento em linhas paralelas, procurando manter a velocidade de movimento constante.
2. Em condições normais de operação, o equipamento conseguirá desbastar uma espessura de 2,5 mm a 3,0 mm de concreto em cada passada.
3. Seu uso é especialmente recomendado para grandes áreas de piso onde exista a necessidade de manter a homogeneidade e uniformidade dos serviços em execução.

Em superfícies que não sejam horizontais e planas, este procedimento se torna inexeqüível.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima apresentado, deverá ser determinada a área efetivamente fresada, e seu valor expresso em m² (metro quadrado).

O preço unitário deste serviço remunera a depreciação do equipamento, o desgaste das ferramentas, os cabos elétricos, acessórios e a mão-de-obra necessária para a execução das operações de desbaste do substrato com a utilização de máquina fresadora.

10.2 Procedimentos de Limpeza do Substrato

10.2.1 Limpeza de substrato com aplicação de jato de água fria [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Operador de fresadora	h	1,00	1,61	1,61
Ajudante	h	0,50	1,32	0,66
Leis Sociais	%	129		2,93
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 5,20
Ferramentas/Equipamentos:				
Luvas de proteção	pç.	0,002	3,20	0,01
Óculos de proteção	par	0,005	2,63	0,01
Fresadora e escarificadora mecânica (Tipo, mod. F-30 BETOMAQ)	h	1,00	2,30	2,30
Cabo elétrico 3x2,50	m	0,001	8,20	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 2,33
Custo unitário			A + B	R$ 7,53
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para executar a limpeza de substratos com jato de água fria, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Iniciar a limpeza pelas partes mais profundas, procurando manter uma pressão adequada para a remoção de partículas soltas.

2. Executar preferivelmente movimentos circulares com o bico do jato para facilitar a limpeza de toda a superfície

Para a aplicação deste procedimento é necessário o emprego de mão-de-obra especializada, sendo indicado para limpeza em grandes áreas e fachadas onde exista a necessidade de remoção de impurezas impregnadas, assim como também restos de fuligem devido à ação química da poluição atmosférica.

Para trabalhar com este equipamento o operador deverá estar devidamente vestido para não se molhar.
Não deverá ser utilizado quando os materiais de reparo requerem substrato seco para garantir boa aderência. Não remove protuberâncias nem concreto com alguma resistência.

Para melhorar a eficiência do processo poderão ser utilizadas soluções ácidas adequadamente formuladas para limpeza, desde que sejam tomadas medidas para a proteção das áreas adjacentes.

Caso existam esquadrias (janelas, portas e marcos) metálicas na fachada, não deverá ser aplicada a solução ácida diretamente sobre as mesmas para evitar danos à anodização ou deflagrar pontos de corrosão localizados. A proteção das esquadrias poderá ser executada com vaselina industrial.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima apresentado, deverá ser determinada a área efetivamente lavada, e esta será expressa em m² (metro quadrado).
Não serão descontados os vazios de janelas realmente lavadas.

O preço unitário para a execução deste serviço remunera o fornecimento e a aplicação de solução limpadora, a mão-de-obra capacitada para a execução dos serviços de lavagem em grandes alturas, depreciação da máquina lava-jato, o desgaste das ferramentas e todos os equipamentos de proteção necessários para a execução dos serviços.
Serviços de aplicação e fornecimento de vaselina industrial para a proteção das esquadrias deverão ser remunerados em separado.

10.2.2 Limpeza de substrato com aplicação de jato de água quente [m²]

Memorial Descritivo

Para executar a limpeza de substratos com jato de água quente, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Iniciar a limpeza pelas partes mais profundas, procurando manter uma pressão adequada para a remoção das partículas soltas.
2. Executar preferencialmente movimentos circulares com o bico do jato para facilitar a limpeza de toda a superfície.

Para a aplicação deste procedimento, é necessário o emprego de mão-de-obra especializada, principalmente quando os serviços a serem executados precisam ser realizados em fachadas altas.

Este procedimento é particularmente indicado para a limpeza em grandes áreas e fachadas onde exista a necessidade de remoção de impurezas impregnadas, assim como de restos

de fuligem devido à ação química da poluição.

Para trabalhar com este equipamento o operador deverá estar devidamente protegido com capas plásticas e também é necessário o uso de luvas térmicas para a proteção do operador contra queimaduras devido às altas temperaturas da água no bico do jato, em torno de 80 °C.

Não deverá ser utilizado quando os materiais de reparo requerem substrato seco para garantir uma boa aderência. Não remove protuberâncias nem concreto com alguna resistência.

Pode ser utilizado para a remoção de impurezas orgânicas tais como graxas, óleos e pinturas se associado a removedores biodegradáveis.

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pintor (capaz de trabalhar amarrado em uma corda)	h	0,26	3,70	0,96
		0,13	1,32	0,17
Ajudante	h	129		1,36
Leis Sociais	%			
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 2,49
Ferramentas/Equipamentos:				
Máquina lavajato com água quente, mangueiras e bico direcional	h	0,2600	3,00	0,78
Capa de proteção	pç.	0,0020	18,00	0,04
Cabo elétrico 3x2,50	m	0,0010	8,20	0,01
Luvas térmicas	pç.	0,0050	8,60	0,04
Balde plástico (60 litros)	pç.	0,0010	15,00	0,01
Broxa	pç.	0,0125	3,00	0,04
Óculos de proteção	pç.	0,0020	3,20	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,93
Material de Consumo:				
Ácido ou solução limpadora	L	1,00	0,60	0,60
Querosene	L	0,13	1,20	0,16
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,76
Custo unitário			A + B + C	R$ 4,18
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	
Valor unitário do serviço por m²				R$

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima apresentado, deverá ser determinada a área efetivamente lavada, e esta será expressa em m² (metro quadrado).

Não serão descontados os vazios de janelas ocasionalmente lavadas.

O preço unitário para a execução deste serviço remunera o fornecimento e a aplicação de soluções de limpeza, mão-de-obra capacitada para executar o serviço em fachadas de grandes alturas, depreciação da máquina lava-jato, combustível para o aquecimento da água, desgaste das ferramentas e todos os equipamentos de proteção necessários para a execução dos serviços.

10.2.3 Limpeza de substrato com aplicação de vapor [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pintor (Capaz de trabalhar amarrado em uma corda)	h	0,50	3,70	1,85
Ajudante	h	0,50	1,32	0,66
Leis Sociais	%	129		3,24
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 7,01
Ferramentas/Equipamentos:				
Máquina geradora de vapor	h	0,500	4,20	2,10
Óculos de proteção	pç.	0,002	3,20	0,01
Luvas térmicas	par	0,005	8,60	0,04
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 2,15
Custo unitário			A + B + C	R$ 9,26
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para executar a limpeza de substratos com jato de vapor, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Iniciar a limpeza pelas partes mais profundas procurado manter uma pressão adequada para a remoção de partículas soltas.
2. Executar preferencialmente movimentos circulares com o bico do jato para facilitar a limpeza de toda a superfície.

Para a aplicação deste procedimento, é necessário o emprego de mão-de-obra especializada, sendo indicado para a limpeza de fachadas em grandes áreas como nos casos de jatos de água fria e quente, sendo mais adequado para a eliminação de impurezas minerais e orgânicas como graxa, óleo e pintura. A eficiência deste processo aumenta quando associado a removedores biodegradáveis.

Para trabalhar com este equipamento o operador deverá estar devidamente protegido para não se molhar.

Não deverá ser utilizado quando os materiais de reparo requerem substrato seco para garantir boa aderência.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima apresentado, deverá ser determinada a área efetivamente lavada, e esta será expressa em m² (metro quadrado).

Não serão descontados os vazios de janelas realmente lavadas.

O preço unitário para a execução deste serviço remunera a mão-de-obra, os materiais necessários, a depreciação da caldeira de vapor, o desgaste das ferramentas e todos os equipamentos de proteção necessários para a execução dos serviços.

10.2.4 Limpeza de substrato por lavagem com soluções ácidas, para pisos ou paredes [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pintor ou Pedreiro	h	0,20	1,61	0,32
Ajudante	h	0,10	1,32	0,13
Leis Sociais	%	129		0,58
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 1,03
Ferramentas/Equipamentos:				
Pulverizador	pç.	0,0100	4,85	0,05
Broxa	pç.	0,0125	3,00	0,04
Pincel	pç.	0,0250	2,25	0,06
Escova	pç.	0,0250	3,60	0,09
Óculos de proteção	pç.	0,0020	3,20	0,01
Luvas de PVC	par	0,0030	2,10	0,01
Mangueira de água (30 m)	pç.	0,001	18,00	0,02
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,28
Material de Consumo:				
Solução de ácido muriático e água (1:1 a 1:3) ou solução de limpeza disponível no comércio.	L	1,00	0,60	0,60
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,60
Custo unitário			A + B + C	R$ 1,91
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para executar a limpeza de substratos por lavagem com soluções ácidas, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Antes da aplicação, saturar a estrutura com água limpa para evitar a penetração de ácido no concreto são.
2. Preparar a solução ácida a ser utilizada no processo de limpeza, de acordo com as recomendações do fabricante.
3. Imediatamente após, aplicar a solução com uma broxa sobre a superfície a ser lavada e esfregar energicamente com escova; a efervescência que aparecerá é sinal de descontaminação da superfície.
4. Imediatamente após a reação, lavar a estrutura com água limpa em abundância para a remoção das partículas sólidas e resíduos ácidos da solução utilizada.

A única restrição ao uso deste processo é quando os materiais de reparo requerem substrato seco para garantir uma boa aderência.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima, deverá ser determinada a área efetivamente lavada, sendo que seu valor será expresso em m² (metro quadrado).

O preço unitário apresentado remunera o fornecimento de ácido e a mão-de-obra para seu manuseio e aplicação nas superfícies contaminadas, assim como o desgaste das ferramentas a serem utilizadas para a execução dos trabalhos.

10.2.5 Limpeza de substrato por lavagem com soluções alcalinas, para pisos ou paredes [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pintor ou Pedreiro	h	0,20	1,61	0,32
Ajudante	h	0,10	1,32	0,13
Leis Sociais	%	129		0,58
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 1,03
Ferramentas/Equipamentos:				
Balde plástico (18 litros)	pç.	0,005	4,20	0,02
Escova	pç.	0,0125	3,60	0,04
Mangueira de água (30 m)	pç.	0,001	18,00	0,02
Óculos de proteção	pç.	0,002	3,20	0,01
Luvas de PVC	par	0,003	2,10	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,10
Material de Consumo:				
Solução alcalina preparada como indicado no memorial descritivo	L	2,0	0,07	0,14
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,14
Custo unitário			A + B + C	R$ 1,27
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para executar a limpeza de substratos por lavagem com soluções alcalinas, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Antes da aplicação, saturar a estrutura com água limpa para evitar a penetração de solução alcalina que poderá modificar as características do concreto.
2. Preparar a solução alcalina diluindo 1 kg de $Ca(OH)_2$ (hidróxido de cálcio) em 4 a 5 litros de água.
3. Aplicar a solução concomitantemente com a lavagem da estrutura com uma mangueira de água.

Este método é particularmente indicado nos casos em que a estrutura esteve sujeita a ataque ácido, melhorando também as características aderentes do substrato.

O método não é agressivo à armadura e não requer equipamento especializado, embora como no caso da lavagem com soluções ácidas, cuidados especiais (proteção com vaselina industrial sólida) deverão ser tomados em relação às esquadrias metálicas existentes na fachada.

O principal limitante deste método está na remoção de produtos provenientes da corrosão de armaduras, além de dificultar a aderência de certos produtos de base epóxi. Este método é mais eficiente em grandes áreas de pisos que em estruturas convencionais.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima apresentado, deverá ser determinada a área efetivamente lavada, sendo que seu valor será expresso em m² (metro quadrado).

O preço unitário apresentado remunera a mão-de-obra, todos os materiais empregados no processo, assim como o desgaste das ferramentas a serem utilizadas para a execução dos trabalhos.

Caso exista a necessidade de proteger esquadrias metálicas com vaselina industrial, este serviço deverá ser remunerado em separado.

10.2.6 Limpeza para remoção de óleos e graxas impregnados superficialmente [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Ajudante	h	0,25	1,32	0,33
Leis Sociais	%	129		0,43
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 0,76
Ferramentas/Equipamentos:				
Escova/vassoura	pç.	0,005	3,60	0,02
Luvas de PVC	par	0,003	2,10	0,01
Óculos de proteção	pç.	0,002	3,20	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,04
Material de Consumo:				
Removedor de graxas à base de solventes de alta penetração, não corrosivo. (Thinner 7810 DB)	L	0,50	1,50	0,75
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,75
Custo unitário			A + B + C	R$ 1,55
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para lavar e limpar substratos com óleos ou graxas impregnados em profundidades inferiores a 2 mm, é necessário adotar o procedimento a seguir:

1. Utilizar um removedor tipo Thinner 7810 DB aplicando-o diretamente sobre as áreas afetadas deixando agir pelo menos por 20 min.
2. Em seguida, lavar a região com água em abundância com o auxílio de uma escova para a remoção de partículas sólidas e resíduos do produto utilizado.

Quando a impregnação ocorre em espessuras superiores a 2 mm, é necessária a remoção do concreto contaminado empregando os procedimentos descritos nos itens *10.1.3 Escarificação mecânica, 10.1.11 Queima controlada* ou *10.1.4 Demolição.*

Este procedimento é recomendado principalmente para a limpeza de superfícies horizontais (pisos) contaminadas superficialmente.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima apresentado, deverá ser determinada a área efetivamente tratada, e seu valor será expresso em m² (metro quadrado).

O preço unitário acima indicado remunera o fornecimento de solvente e a mão-de-obra para sua aplicação, as ferramentas necessárias para a execução das operações de remoção de óleos e graxas do substrato impregnado.

10.2.7 Limpeza do substrato com jato de ar comprimido [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Operador de compressor	h	0,10	1,61	0,16
Leis Sociais	%	129		0,21
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 0,37
Ferramentas/Equipamentos:				
Compressor de 125 ou 250 pcm com mangueira e filtro de óleo na linha	h	0,10	10,50	1,05
Luvas de proteção	par	0,003	2,63	0,01
Óculos de proteção	pç.	0,002	3,20	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 1,07
Material de Consumo:				
Combustível (Diesel)	L	0,425	0,40	0,17
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,17
Custo unitário			A + B + C	R$ 1,61
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para executar a limpeza de substratos com jato de ar comprimido, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Nas cavidades existentes, colocar em seu interior a extremidade da mangueira executando a limpeza do interior para o exterior.

2. Quando limpas, as cavidades devem ser vedadas com papel, procedendo-se então à limpeza da superfície remanescente.
3. É importante começar sempre o processo pelas cavidades, passando depois para as superfícies vizinhas, de modo a evitar a deposição de pó em seu interior.

Este procedimento é recomendado principalmente para limpar e remover pó depois da preparação de substratos por meio de escarificação, escova de aço ou jato de areia ou outros serviços em que seja necessária a aplicação de resinas de base epóxi, as quais requerem superfícies limpas e secas.

Em superfícies úmidas não deverá ser utilizado, porque o mesmo é ineficiente nessas condições. É imprescindível a utilização de filtro de óleo na linha de ar comprimido, pois apenas desta forma não ocorrerá o transporte de partículas de óleo prejudiciais à superfície que está sendo limpada.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima apresentado, deverá ser determinada a área efetivamente limpada, e seu valor expresso em m² (metro quadrado).

O preço unitário acima mostrado remunera o uso do compressor, as mangueiras de ar, o filtro de óleo, o combustível e a mão-de-obra necessária para a execução das operações de limpeza e remoção das partículas de pó do substrato. O preço para a mobilização e desmobilização do equipamento deverá estar incluso no B.D.I.

10.2.8 Limpeza do substrato com utilização de solventes voláteis [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Ajudante	h	0,25	1,32	0,33
Leis Sociais	%	129		0,43
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 0,76
Ferramentas/Equipamentos:				
Broxa ou pincel	pç.	0,0250	2,25	0,06
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,06
Material de Consumo:				
Acetona	L	0,50	2,76	1,38
Estopa	kg	0,010	4,80	0,05
Algodão	kg	0,010	6,00	0,06
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 1,49
Custo unitário			A + B + C	R$ 2,31
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para executar a limpeza de substratos com solventes voláteis, é necessário adotar o seguinte procedimento:

Aplicar acetona com estopa, pincel ou algodão na superfície, com a utilização de um pincel e movimentos adequados, retirar eventuais resíduos e contaminações presentes no local.

Este procedimento é recomendado principalmente para limpar e remover pó após a preparação de substratos por meio de escarificação, escova de aço, jato de areia, ou outros serviços em que seja necessária a aplicação de resinas base epóxi, as quais requerem superfícies limpas e secas.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima apresentado, deverá ser determinada a área efetivamente limpada, e expressa em m^2 (metro quadrado).

O valor final dos serviços determinados para a remuneração dos serviços executados será apresentado em frações decimais e múltiplas de 0,50 m^2, sempre arredondadas para mais, por exemplo 0,50 m^2, 1,00 m^2, 1,50 m^2 a assim por diante.

O preço unitário remunera o fornecimento dos solventes voláteis, a mão-de-obra para sua aplicação e o desgaste das ferramentas necessárias para a execução das operações de limpeza e remoção das partículas de pó do substrato.

10.2.9 Preparo do substrato por saturação com água [m^2]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Ajudante	h	0,20	1,32	0,26
Leis Sociais	%	129		0,34
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 0,60
Ferramentas/Equipamentos:				
Sacos de aniagem (absorventes)	pç.	1,000	0,20	0,20
Fio de gangorra	kg	0,010	6,00	0,06
Mangueira transparente Ø = ¾ (30 m)	pç.	0,001	60,00	0,06
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,32
Custo unitário			A + B	R$ 0,92
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m^2.				R$

Memorial Descritivo

Para preparar um substrato utilizando o processo de saturação com água, deverá ser adotado o seguiete procedimento:

1. Sumergir totalmente a superfície a ser tratada por um período mínimo de 12 horas, que deverá anteceder a aplicação da argamassa ou concreto de base mineral sobre a superfície.

2. Esta imersão pode ser conseguida com a construção de barreiras temporárias e mangueira com fluxo contínuo.
3. Em superfícies verticais, quando a submersão for inviável, formar um filme contínuo de água na superfície com o auxílio de sacos absorventes e mangueiras perfuradas.
4. Instantes antes da aplicação dos produtos, retirar a água e secar com estopa limpa, secar o excesso de água superficial, obtendo assim o substrato saturado com superfície seca (não encharcada).

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima apresentado, deverá ser determinada a área efetivamente saturada, e seu valor será expresso em m² (metro quadrado).

O preço unitário remunera a mão-de-obra, ferramentas e materiais necessários para a execução das operações de saturação para o preparo do substrato.

10.2.10 Limpeza do substrato por aspiração a vácuo [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Ajudante	h	0,20	1,32	0,26
Leis Sociais	%	129		0,34
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 0,60
Ferramentas/Equipamentos:				
Aspirador industrial com motor de 1/2 c.v.	h	0,20	1,20	0,24
Cabo elétrico 3x2,50	m	0,001	8,20	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,25
Custo unitário			A + B	R$ 0,85
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para limpar um substrato utilizando o processo de aspiração por vácuo, deverá ser adotado o seguinte procedimento:

1. Com um aspirador industrial especialmente fabricado para aspirar partículas de concreto, passar o equipamento em toda a área a ser limpada.
2. Especial atenção deverá ser dispensada nas quinas e aristas, pois estes são locais onde normalmente ocorre o maior acúmulo de partículas.

Este procedimento não requer mão-de-obra especializada e apresenta elevada produtividade aliada à grande eficiência quando aplicado em substratos secos.

É altamente recomendável em locais onde grandes quantidades de pó não possam ser toleradas em virtude de processos industriais mais sofisticados.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima apresentado, deverá ser determinada a área efetivamente aspirada, e seu valor será expresso em m² (metro quadrado).

O preço unitário remunera a mão-de-obra e os equipamentos necessários para a execução das operações de limpeza por aspiração a vácuo.

10.3 Procedimentos de Reparo e Reforço de Estruturas de Concreto Armado

10.3.1 Reparos superficiais localizados com argamassa base cimento modificada com polímeros (0,5 cm ≤ esp. ≤ 3 cm) [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	3,00	1,61	4,83
Ajudante	h	1,50	1,32	1,98
Leis Sociais	%	129		8,78
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 15,59
Ferramentas/Equipamentos:				
Colher de pedreiro	pç.	0,002	4,90	0,01
Desempenadeira de aço	pç.	0,002	2,80	0,01
Misturador mecânico	h	0,010	3,00	0,03
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,05
Material de Consumo:				
Fornecimento e preparo de argamassa base cimento modificada com polímeros	kg	62,50	1,04	65,00
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 65,00
Custo unitário			A + B + C	R$ 80,64
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para executar reparos superficiais localizados em Lajes, Vigas, Pilares, Muros ou Pisos com argamassa base cimento modificada com polímeros é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Demarcar o contorno da região a ser tratada de acordo com os procedimentos descritos no item *10.1.10 Demarcação com disco de corte* desta metodologia. O corte realizado deverá ter profundidade ≥ 0,5 cm para qualquer superfície estrutural, ou ser ≥ 1 cm no caso de pisos.
2. Imediatamente após escarificar a regão a ser tratada, por um dos procedimentos indicados nos itens *10.1.1 Escarificação manual* ou *10.1.3 Escarificação mecânica*, retirar todo o material solto, mal compactado e segregado, até atingir concreto são.
3. Sempre que necessário, prever escoramento adequado da estrutura.

1. O substrato será limpado em seguida, de acordo com o procedimento *10.2.9 Limpeza por saturação com água* desta metodologia depois do qual será aplicada uma ponte de aderência como indicado no item *10.12.1 Preparo de ponte de aderência com adesivos base acrílica*, constituída por nata de cimento modificada com adesivo. Não deverão ser aceitos adesivos base PVA .
2. Para o preparo da argamassa de reparo, adicionar o componente B ao componente A, misturar em um misturador mecânico por aproximadamente 3 (três) minutos, até obter uma homogenização perfeita.
3. Para a aplicação da argamassa de reparo, a argamassa previamente misturada deverá ser pressionada fortemente contra o substrato em camadas sucessivas de 1 cm até atingir a espessura desejada, desde que esta espessura não seja superior a 3,0 cm. Para o caso de pisos, adotar o mesmo procedimento.
4. O acabamento deverá ser dado com desempenadeira metálica, de madeira ou de feltro, dependendo do aspecto que se queira conferir à superfície.
5. Para a cura, é necessário manter a superfície úmida por 7 (sete) dias ou aplicar duas demãos de solução de cura com pulverizador, antes do início de pega, ou logo após, com broxa ou rolo. Nas 36 primeiras horas, evitar a radiação solar direta com o emprego de toldos ou outros anteparos.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deverá ser determinada a área real de superfície tratada, e seu valor será expresso em m^2 (metro quadrado).

O preço unitário determinado remunera o fornecimento de material, toda a mão-de-obra para sua aplicação, o desgaste das ferramentas, assim como a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços constantes deste memorial descritivo.

As atividades constantes nas etapas deverão ser remuneradas de acordo com os critérios existentes nos itens relativos ao preparo do substrato e preparo de ponte de aderência, respectivamente.

10.3.2 Reparos superficiais localizados executados com argamassa base epóxi (0,5 cm ≤ esp. ≤ 1,5 cm) [m²]

Memorial Descritivo

Para executar reparos superficiais localizados e Lajes, Vigas, Pilares e Muros com argamassa base epóxi é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Demarcar o contorno da região a ser tratada de acordo com o procedimento descrito no item *10.1.10 Demarcação com disco de corte* desta metodologia, o corte assim realizado deverá ter profundidade ≥ 0,5 cm para qualquer superfície estrutural, ou ser ≥ 1,00 cm no caso de pisos.
2. Imediatamente após, escarificar a região a ser tratada empregando um dos procedimentos indicados nos itens *10.1.1 Escarificação manual* ou *10.1.3 Escarificação mecânica*, retirar todo o material solto, mal compactado e segregado, até atingir o concreto são.
3. Sempre que necessário, prever escoramento adequado para a estrutura.
4. O substrato deverá ser limpado em seguida, de acordo com o procedimento *10.2.7 Limpeza por jato de ar comprimido* desta metodologia, e depois disto será aplicada

uma ponte de aderência sobre o substrato seco com uma espátula, respeitando seu tempo de manuseio, conforme especificado no item *10.2.2 Preparo de ponte de aderência com adesivo base epóxi*, desta metodologia. Quando não for praticável a limpeza do substrato pelo método citado, utilizar *10.2.8 Limpeza com solventes voláteis*.

5. Para o preparo da argamassa de reparo, adicionar o componente B ao componente A e misturar por aproximadamente 3 (três) minutos até a completa homogeneização. Adicionar aos poucos e lentamente o componente C (agregados) e homogeneizar por 3 (três) minutos mais.
6. Para a aplicação da argamassa de reparo, a argamassa misturada deverá ser pressionada fortemente contra o substrato em camadas sucessivas de 0,5 cm, até atingir a espessura desejada, desde que esta espessura não seja superior a 1,5 cm. Independentemente de que os reparos estejam sendo executados em estruturas ou pisos, para espessuras maiores que 1,5 cm defasar as operações por períodos superiores a 5,0 horas e manter as superfícies que receberão a nova camada ranhuradas a fim de facilitar a aderência das camadas posteriores. É aconselhável que a temperatura ambiente esteja entre 10 °C e 30 °C quando forem executados estes serviços de reparo.
7. O acabamento deverá ser dado com desempenadeira de aço.
8. Para a cura, proteger contra a radiação solar durante as primeiras cinco horas.
9. Tomar os seguintes cuidados: trabalhar com luvas e óculos de segurança em locais ventilados e limpar as ferramentas e equipamentos com um solvente indicado pelo fabricante, antes da polimerização do sistema epóxi (cerca de 45 minutos a 20 °C).

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	3,50	1,61	5,64
Ajudante	h	2,00	1,32	2,64
Leis Sociais	%	129		10,68
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 18,96
Ferramentas/Equipamentos:				
Colher de pedreiro	pç.	0,002	4,90	0,01
Desempenadeira de aço	pç.	0,002	2,80	0,01
Misturador mecânico	h	0,010	1,00	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,03
Material de Consumo:				
Argamassa base epóxi	kg	34,50	3,58	123,51
Solvente para materiais base epóxi	L	0,18	5,12	0,92
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 124,43
Custo unitário			A + B + C	R$ 143,42
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deverá ser determinada a área real da superfície tratada, e seu valor será express em m² (metro quadrado).

O preço unitário determinado remunera o fornecimento de material, toda a mão-de-obra para sua aplicação, o desgaste das ferramentas, assim como também a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços constantes deste memorial descritivo.

As atividades constantes das etapas deverão ser remuneradas de acordo com os critérios existentes nos itens relativos ao preparo do substrato e o preparo de ponte de aderência, respectivamente.

10.3.3 Reparos superficiais localizados executados com argamassa base poliéster (0,5 cm ≤ esp. ≤ 1,5 cm) [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	3,50	1,61	5,64
Ajudante	h	2,00	1,32	2,64
Leis Sociais	%	129		10,68
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 18,96
Ferramentas/Equipamentos:				
Colher de pedreiro	pç.	0,002	4,90	0,01
Desempenadeira de aço	pç.	0,002	2,80	0,01
Balde plástico de 18 litros	pç.	0,002	4,20	0,01
Misturador mecânico	h	0,010	1,00	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,04
Material de Consumo:				
Fornecimento e preparo de argamassa base poliéster	kg	28,80	3,17	91,30
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 91,30
Custo unitário			A + B + C	R$ 110,30
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para executar reparos superficiais localizados em Lajes, Vigas, Pilares e Muros com argamassa base poliéster é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Demarcar o contorno da região a ser tratada de acordo com o procedimento descrito no item *10.1.10 Demarcação com disco de corte* desta metodologia, o corte assim realizado deverá ter profundidade ≥ 0,5 cm para qualquer superfície estrutural, ou ser ≥ 1,00 cm no caso de pisos.
2. Imediatamente após, escarificar a região a ser tratada empregando um dos procedimentos indicados nos itens *10.1.1 Escarificação manual* ou *10.1.3 Escarificação mecânica*, retirar todo o material solto, mal compactado e segregado, até atingir o concreto são.
3. Sempre que necessário, prever escoramento adequado para a estrutura.

4. Este procedimento somente é recomendado para reparos de pequenas dimensões, tais como áreas de 50 cmx 50 cm ou de 10 cm x 100 cm.
5. O substrato deverá ser limpado em seguida, de acordo com o procedimento *10.2.7 Limpeza por jato de ar comprimido* desta metodologia, e depois disto será aplicada uma ponte de aderência sobre o substrato seco com uma espátula, respeitando seu tempo de manuseio, conforme especificado no item *10.2.2 Preparo de ponte de aderência com adesivo base epóxi*, desta metodologia. Quando não for praticável a limpeza do substrato pelo método citado, utilizar *10.2.8 Limpeza com solventes voláteis*.
6. Para o preparo da argamassa de reparo, adicionar o componente B ao componente A e misturar por aproximadamente 3 (três) minutos até a completa homogeneização.
7. Para a aplicação da argamassa de reparo, a argamassa misturada deverá ser pressionada fortemente contra o substrato em camadas sucessivas de 0,5 cm, até atingir a espessura desejada, desde que esta espessura não seja superior a 1,5 cm. Independentemente de que os reparos estejam sendo executados em estruturas ou pisos, para espessuras maiores que 1,5 cm defasar as operações por períodos superiores a 5,0 horas e manter as superfícies que receberão a nova camada ranhuradas a fim de facilitar a aderência das camadas posteriores.
8. O acabamento deverá ser dado com desempenadeira de aço.
9. Para a cura, proteger contra a radiação solar durante as primeiras 5 (cinco) horas.
10. Tomar os seguintes cuidados: trabalhar com luvas e óculos de segurança em locais ventilados e limpar as ferramentas e equipamentos com um solvente indicado pelo fabricante.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deverá ser determinada a área real da superfície tratada, e seu valor será express em m² (metro quadrado).

O preço unitário determinado remunera o fornecimento de material, toda a mão-de-obra para sua aplicação, o desgaste das ferramentas, assim como também a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços constantes deste memorial descritivo.

As atividades constantes das etapas deverão ser remuneradas de acordo com os critérios existentes nos itens relativos ao preparo do substrato e o preparo de ponte de aderência, respectivamente.

10.4 Reparos Superficiais em Grandes Áreas

10.4.1 Reparos superficiais executados em grandes áreas com argamassa base cimento modificada com polímeros (0,5 cm ≤ esp. ≤ 3,0 cm) [m²]

Memorial Descritivo

Para executar reparos superficiais em grandes áreas em Lajes, Vigas, Pilares e Muros com argamassa base cimento modificada com polímeros é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Demarcar o contorno da região a ser tratada de acordo com o procedimento descrito no item *10.1.10 Demarcação com disco de corte* desta metodologia, o corte assim realizado deverá ter profundidade ≥ 0,5 cm para qualquer superfície estrutural, ou ser ≥ 1,00 cm no caso de pisos.
2. Imediatamente após, escarificar a região a ser tratada empregando um dos procedimentos indicados nos itens *10.1.1 Escarificação manual* ou *10.1.3 Escarificação mecânica*, retirar todo o material solto, mal compactado e segregado, até atingir o concreto são.
3. Sempre que necessário, prever escoramento adequado para a estrutura.
4. O substrato deverá ser limpado em seguida, de acordo com o procedimento *10.2.9 Limpeza por saturação com água*, desta metodologia, e depois disto será aplicada uma ponte de aderência como indicado no item *10.12.1 Preparo de ponte de aderência com adesivo base acrílica*, constituída por nata de cimento modificada com adesivo. Não deverão ser utilizados adesivos base PVA.
5. Para o preparo da argamassa de reparo, adicionar o componente B ao componente A e misturar por aproximadamente 3 (três) minutos até a completa homogeneização.
6. Para a aplicação da argamassa de reparo, a argamassa misturada deverá ser pressionada fortemente contra o substrato em camadas sucessivas de 1,0 cm, até atingir a espessura desejada, desde que esta espessura não seja superior a 3,0 cm.
7. O acabamento deverá ser dado com desempenadeira de aço, de madeira ou de feltro, dependendo do aspecto que se queira conferir à superfície.
8. Para a cura, é necessário manter a superfície úmida por 7 (sete) dias, ou aplicar duas demãos de soluções de cura com pulverizador, antes do início da pega, ou após, com pincel ou rolo. Nas primeiras 36 horas, proteger contra a radiação solar utilizando toldos ou outros aparatos.

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	2,60	1,61	4,19
Ajudante	h	1,30	1,32	1,72
Leis Sociais	%	129		7,62
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 13,53
Ferramentas/Equipamentos:				
Colher de pedreiro	pç.	0,002	4,90	0,01
Desempenadeira de aço	pç.	0,002	2,80	0,01
Misturador mecânico	h	0,010	1,00	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,03
Material de Consumo:				
Fornecimento e preparo de argamassa base cimento modificada com polímeros.	kg	62,50	1,04	65,00
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 65,00
Custo unitário			A + B + C	R$ 78,56
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deverá ser determinada a área real da superfície tratada, e seu valor será express em m² (metro quadrado).

O preço unitário determinado remunera o fornecimento de material, toda a mão-de-obra para sua aplicação, o desgaste das ferramentas, assim como também a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços constantes deste memorial descritivo.

As atividades constantes das etapas deverão ser remuneradas de acordo com os critérios existentes nos itens relativos ao preparo do substrato e o preparo de ponte de aderência, respectivamente.

10.4.2 Reparos superficiais executados em grandes áreas com argamassa projetada base cimento modificada com polímeros 1,0 cm ≤ esp. ≤ 7,0 cm [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Operador de projeção	h	0,08	2,00	0,16
Pedreiro	h	4,00	1,61	6,44
Ajudante	h	2,00	1.32	2,64
Leis Sociais	%	129		11,92
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 21,16
Ferramentas/Equipamentos:				
Bico projetor completo	un.	0,0011	226,72	0,25
Mangote de 1 ½"	m	0,0278	41,04	1,14
Máquina de projeção vía úmida	h	0,0800	16,20	1,30
Disco de ferro	un.	0,0033	103,10	0,34
Disco de borracha superior	un.	0,0033	103,10	0,34
Disco de borracha inferior	un.	0,0033	103,10	0,34
Misturador mecânico	h	0,0500	1,00	0,05
Luvas de proteção	par	0,0030	2,63	0,01
Óculos de proteção	pç.	0,0020	3,20	0,01
Capa	pç.	0,0020	18,00	0,04
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 3,82
Material de Consumo:				
Argamassa base cimento modificada com polímeros	kg	146	1,04	151,84
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 151,84
Custo unitário			A + B + C	R$ 176,82
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para executar reparos superficiais em grandes áreas em Lajes, Vigas, Pilares e Muros com argamassa projetada base cimento modificada com polímeros, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Demarcar o contorno da região a ser tratada de acordo com o procedimento descrito no item *10.1.10 Demarcação com disco de corte* desta metodologia, o corte assim realizado deverá ter profundidade ≥ 0,5 cm para qualquer superfície estrutural, ou ser ≥ 1,00 cm no caso de pisos.
2. Imediatamente após, escarificar a região a ser tratada empregando um dos procedimentos indicados nos itens *10.1.1 Escarificação manual* ou *10.1.3 Escarificação mecânica*, retirar todo o material solto, mal compactado e segregado, até atingir o concreto são.
3. Sempre que necessário, prever escoramento adequado para a estrutura.
4. O substrato deverá ser limpado em seguida, de acordo com o procedimento *10.2.9 Limpeza por saturação com água*, desta metodologia, e depois disto será aplicada uma ponte de aderência como indicado no item *10.12.1 Preparo de ponte de aderência com adesivo base acrílica*, constituída por nata de cimento modificada com adesivo. Não deverão ser utilizados adesivos base PVA.
5. Para o preparo da argamassa de reparo, adicionar o componente B ao componente A e misturar por aproximadamente 3 (três) minutos até a completa homogeneização.
6. Para a aplicação da argamassa de reparo, a argamassa misturada deverá ser projetada contra o substrato pelo processo via úmida, sempre de baixo para cima, em camadas sucessivas, até atingir a espessura desejada ≤ 7,0 cm.
7. O acabamento deverá ser dado com desempenadeira de aço, de madeira ou de feltro, dependendo do aspecto que se queira conferir à superfície.
8. Para a cura, é necessário manter a superfície úmida por 7 (sete) dias, ou aplicar duas demãos de soluções de cura com pulverizador, antes do início da pega, ou após, com pincel ou rolo. Nas primeiras 36 horas, proteger contra a radiação solar utilizando toldos ou outros aparatos.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deverá ser determinada a área real da superfície tratada, e seu valor será express em m^2 (metro quadrado).

O preço unitário determinado remunera o fornecimento de material, toda a mão-de-obra para sua aplicação, o desgaste das ferramentas, assim como também a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços constantes deste memorial descritivo.

As atividades constantes das etapas deverão ser remuneradas de acordo com os critérios existentes nos itens relativos ao preparo do substrato e o preparo de ponte de aderência, respectivamente.

10.4.3 Reparos superficiais executados em grandes áreas com aplicação de estuque de esp. ≤ 3 mm [m²]

Memorial Descritivo

Para preparar substratos com a aplicação de estuque, deverá ser adotado o seguinte procedimento:

1. O substrato deverá ser lixado com lixadeira elétrica de acordo com as condições constantes no item *10.1.6 Lixamento com lixadeira elétrica*, utilizando-se disco de lixa n° 60 ou n° 80. Antes da aplicação da pasta de estucamento, o substrato que irá recebê-la deverá estar úmido com superfície seca.
2. Para preparar a pasta para estucamento, misturar 2 volumes de cimento Portland, 1 volume de cimento Branco e 1 volume de alvaiade ou areia fina; a relação cimento Portland: cimento Branco poderá ser alterada para conseguir colorações mais claras ou mais escuras dependendo do cimento utilizado na concretagem da estrutura original.
3. Para conseguir a trabalhabilidade necessária da pasta, misturar todos os componentes adicionando aos poucos uma solução de adesivo acrílico e água na proporção 1:3 até conseguir uma pasta homogênea que estará pronta para ser aplicada. Para evitar desperdícios, preparar unicamente quantidades de pasta que possam ser aplicadas no prazo máximo de duas a três horas (tempo de pega do cimento).
4. Para a aplicação da argamassa de estucamento, esta, após o preparo, deverá ser aplicada sobre a superfície com desempenadeira de aço, pressionando-a fortemente de modo a evitar a criação de uma camada de ar sobre o concreto, ou seja, a argamassa deverá ter uma consistência tal que permita preencher os vazios, cavidades e minifissuras.
5. O acabamento deverá ser dado com desempenadeira de aço ou de feltro (espuma), dependendo do aspecto que se queira conferir à superfície. Após 36 horas, lixar novamente com disco de lixa n° 100 ou n° 120, conforme especificado no item *10.1.6 Lixamento com lixadeira elétrica.*
6. Para a cura, é necessário manter a superfície úmida pelo menos por 3 (três) dias.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deverá ser determinada a área real da superfície tratada, e seu valor será express em m² (metro quadrado).

O preço unitário determinado remunera pelo fornecimento de material, toda a mão-de-obra para sua aplicação, o desgaste das ferramentas, assim como também a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços constantes deste memorial descritivo.

Os serviços constantes nas etapas deverão ser remunerados de acordo com os critérios existentes no item relativo ao preparo do substrato *10.1.6 Lixamento com lixadeira elétrica*.

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Operador de projeção	h	0,08	2,00	0,16
Pedreiro	h	4,00	1,61	6,44
Ajudante	h	2,00	1.32	2,64
Leis Sociais	%	129		11,92
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 21,16
Ferramentas/Equipamentos:				
Bico projetor completo	un.	0,0011	226,72	0,25
Mangote de 1 ½"	m	0,0278	41,04	1,14
Máquina de projeção vía úmida	h	0,0800	16,20	1,30
Disco de ferro	un.	0,0033	103,10	0,34
Disco de borracha superior	un.	0,0033	103,10	0,34
Disco de borracha inferior	un.	0,0033	103,10	0,34
Misturador mecânico	h	0,0500	1,00	0,05
Luvas de proteção	par	0,0030	2,63	0,01
Óculos de proteção	pç.	0,0020	3,20	0,01
Capa	pç.	0,0020	18,00	0,04
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 3,82
Material de Consumo:				
Argamassa base cimento modificada com polímeros	kg	146	1,04	151,84
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 151,84
Custo unitário			A + B + C	R$ 176,82
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

10.5 Reparos em Juntas de Expansão

10.5.1 Reparos em bordas de juntas de expansão executados com argamassa base cimento modificada com polímeros [m²]

Memorial Descritivo

Para executar reparos em juntas de expansão com argamassa base cimento modificada com polímeros, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Demarcar o contorno da região a ser tratada de acordo com o procedimento descrito no item *10.1.10 Demarcação com disco de corte*, desta metodologia, o corte assim realizado deverá ter profundidade ≥ 0,5 cm para qualquer superfície estrutural, ou ser ≥ 1,00 cm no caso de pisos.

1. Imediatamente após, escarificar a região a ser tratada empregando um dos procedimentos indicados nos itens *10.1.1 Escarificação manual* ou *10.1.3 Escarificação mecânica*, retirar todo o material solto, mal compactado e segregado, até atingir o concreto são. Sempre que necessário, prever escoramento adequado para a estrutura.
2. O substrato deverá ser limpado em seguida, de acordo com o procedimento *10.2.9 Limpeza por saturação com água* ou *10.2.7 Limpeza por jato de ar comprimido*, desta metodologia, e depois disto será aplicada uma ponte de aderência como indicado no item *10.12.1 Preparo de ponte de aderência com adesivo base acrílica*, constituída por nata de cimento modificada com adesivo. Não deverão ser utilizados adesivos base PVA.
3. Para o preparo da argamassa de reparo, adicionar o componente B ao componente A e misturar por aproximadamente 3 (três) minutos até a completa homogeneização.
4. Para a aplicação da argamassa de reparo, a argamassa deverá ser adensada nas bordas da junta. Este serviço deverá ser executado em camadas com espessuras sempre inferiores a 3,0 cm e sua aplicação realizada com defasagem de 2,0 horas. As superfícies que receberão a nova camada deverão ser ranhuradas para apresentar melhor aderência.
5. O acabamento deverá ser dado com desempenadeira de aço, de madeira ou de feltro, dependendo do aspecto que se queira conferir à superfície.
6. Para a cura, é necessário manter a superfície úmida por 7 (sete) dias, ou aplicar duas demãos de soluções de cura com pulverizador, antes do início da pega, ou após, com pincel ou rolo. Nas primeiras 36 horas, proteger contra a radiação solar utilizando toldos ou outros aparatos.
7. O selante deverá ser aplicado após o endurecimento das bordas, que ocorrerá normalmente em 7 dias. Ver item específico, *10.5.3 Tratamento de juntas com elastômeros à base de polissulfetos* deste manual.

Este procedimento é especialmente indicado para reparar juntas localizadas em superfícies onde existam pequenas solicitações, por exemplo pilares e lajes de pequenas edificações.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo apresentado, deverá ser determinada a área total das juntas tratadas, ou seja, o produto do comprimento pelo perímetro que se desenvolve em ambos os lados da junta, e seu valor será expresso em m² (metro quadrado). Os serviços constantes nas etapas serão remunerados de acordo com os preços unitários e critérios existentes no item *10.1.1 Escarificação manual* e no item *10.12.1 Preparo de pontes de aderência com adesivos base acrílica*. O preço unitário determinado remunera pelo fornecimento do material, toda a mão-de-obra para sua aplicação, o desgaste das ferramentas e a depreciação dos equipamentos necessários para executar os serviços relativos às etapas deste memorial descritivo.

As atividades relativas às etapas serão remuneradas de acordo com os critérios e preços unitários existentes no item *10.5.3 Preenchimento de juntas de expansão com elastômeros.*

10.5.2 Reparos em bordas de juntas de expansão executados com argamassa base epóxi para espessuras de até 1,5 cm [m²]

Memorial Descritivo

Para executar reparos em juntas de expansão com argamassa base epóxi, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Demarcar o contorno da região a ser tratada de acordo com o procedimento descrito no item *10.1.10 Demarcação com disco de corte*, desta metodologia, o corte assim realizado deverá ter profundidade ≥ 0,5 cm para qualquer superfície estrutural, ou ser ≥ 1,00 cm no caso de pisos.
2. Imediatamente após, escarificar a região a ser tratada empregando um dos procedimentos indicados nos itens *10.1.1 Escarificação manual* ou *10.1.3 Escarificação mecânica*, retirar todo o material solto, mal compactado e segregado, até atingir o concreto são.
3. Sempre que necessário, prever escoramento adequado para a estrutura.
4. O substrato deverá ser limpado em seguida, de acordo com o procedimento *10.2.7 Limpeza por jato de ar comprimido* ou, eventualmente, *10.2.8 Solventes* voláteis, desta metodologia, e depois disto será aplicada uma ponte de aderência à base de resina epóxi sobre o substrato seco com uma espátula, respeitando seu tempo de manuseio, conforme especificado no item *10.2.2 Preparo de ponte de aderência com adesivo base epóxi*, desta metodologia, respeitando o tempo de manuseio e o tempo de pega indicado pelo fabricante.
5. Para o preparo da argamassa de reparo, adicionar o componente B ao componente A e misturar por aproximadamente 3 (três) minutos até a completa homogeneização. Adicionar aos poucos e lentamente o componente C (agregados) e homogeneizar por 3 (três) minutos mais.
6. Para a aplicação da argamassa de reparo, a argamassa deverá ser adensada nas bordas da junta. Este serviço deverá ser executado respeitando-se sempe o tempo de manuseio e pega do adesivo. As camadas deverão ser executadas com espessuras sempre inferiores a 1,5 cm, e sua aplicação defasada de pelo menos 2,0 horas. As superfícies que receberão a nova camada deverão ser ranhuradas a fim de facilitar a aderência das camadas posteriores.
7. O acabamento deverá ser dado com desempenadeira de aço.
8. Para a cura, proteger contra a radiação solar com toldos ou outros anteparos durante as primeiras 5 horas.

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	4,50	1,61	7,25
Ajudante	h	2,50	1,32	3,30
Leis Sociais	%	129		13,61
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 24,16
Ferramentas/Equipamentos:				
Colher de pedreiro	pç.	0,002	4,90	0,01
Desempenadeira de aço	pç.	0,002	2,80	0,01
Misturador mecânico	pç.	0,050	1,00	0,05
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,07
Material de Consumo:				
Argamassa base epóxi	kg	34,50	3,58	123,51
Solvente para limpeza	L	0,18	5,12	0,92
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 124,43
Custo unitário			A + B + C	R$ 148,66
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m^2				R$

9. O selante deverá ser aplicado após o endurecimento das bordas, que ocorrerá normalmente em 24 horas, como indicado no item *10.5.3 Tratamento de juntas com elastômeros à base de polissulfetos*.

Este procedimento é especialmente indicado para reparar juntas localizadas em superfícies verticais e horizontais, inclusive no caso de grandes solicitações, por exemplo, pilares, vigas e lajes ou pisos de edifícios industriais, comerciais ou residenciais de grandes dimensões.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo apresentado, deverá ser determinada a área total das juntas tratadas, ou seja, o produto do comprimento pelo perímetro que se desenvolve em ambos os lados da junta, e seu valor será expresso em m^2 (metro quadrado). Os serviços constantes nas etapas serão remunerados de acordo com os preços unitários e critérios existentes no item *10.1.1 Escarificação manual* e no item *10.12.1 Preparo de pontes de aderência com adesivos base acrílica*. O preço unitário determinado remunera o fornecimento do material, toda a mão-de-obra para sua aplicação, o desgaste das ferramentas e a depreciação dos equipamentos necessários para executar os serviços relativos às etapas deste memorial descritivo.

As atividades relativas às etapas serão remuneradas de acordo com os critérios e preços unitários existentes no item *10.5.3 Preenchimento de juntas de expansão com elastômeros.*

10.5.3 Preenchimento de juntas de expansão com elastômeros à base de polissulfetos ou borracha de silicone [dm^3]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	0,33	1,61	1,33
Ajudante	h	0,10	1,32	0,33
Leis Sociais	%	129		2,14
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 3,80
Ferramentas/Equipamentos:				
Pistola aplicadora de resina	pç.	0,001	15,00	0,04
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,04
Material de Consumo:				
Mangueira transparente (Ø=3/4)	m	2,50	2,04	5,10
Resina para preenchimento de junta	L	1,00	48,60	48,60
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 53,70
Custo unitário			A + B + C	R$ 57,54
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m de junta				R$

Memorial Descritivo

Para o preenchimento de juntas de expansão com elastômeros à base de polissulfetos ou borracha de silicone, adotar o seguinte procedimento:

1. O preenchimento de juntas com elastômeros à base de polissulfetos, deverá ser executado com o auxílio de um aplicador metálico (pistola aplicadora).

2. Inicialmente corta-se o bico do cartucho para imediatamente após introduzi-lo no corpo do aplicador metálico; pressionar o gatilho de modo a permitir a saida do material vedante do cartucho através da abertura feita no bico.
3. Após o total endurecimento das bordas (7 dias, para argamassas de reparo base cimento ou 24 horas para argamassas base resina epóxi), introduzir na junta um apoio de poliestireno expandido ou uma mangueira plástica para limitar a altura do cordão de material selante que irá preencher a junta.
4. Sobre a superfície seca aplicar o selante sempre de baixo para cima, mantendo o bico do cartucho inclinado e exercendo pressão uniforme sobre o gatilho do aplicador. A aplicação de *primer* é quase sempre recomendável.
5. A largura do cordão de material selante utilizado para o preenchimento da junta deverá ser maior ou igual a sua altura.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo apresentado, deverá ser determinado o volume total das juntas tratadas por este processo e seu valor expresso em dm^3 (decímetro cúbico).

O preço unitário determinado remunera o fornecimento de material, toda a mão-de-obra para sua aplicação, assim como o desgaste das ferramentas necessárias para a execução dos serviços relacionados neste memorial.

10.6 Reparos Profundos

10.6.1 Reparos profundos executados com argamassa base cimento modificada com polímeros (1,0 ≤ esp. ≤ 5,0 cm) [m^3]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	86,00	1,61	138,46
Ajudante	h	43,00	1,32	56,76
Leis Sociais	%	129		251,83
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 447,05
Ferramentas/Equipamentos:				
Colher de pedreiro	pç.	0,02	4,90	0,10
Desempenadeira de aço	pç.	0,02	2,80	0,06
Misturador mecânico	h	0,50	1,00	0,50
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,66
Material de Consumo:				
Argamassa para reparo base cimento modificada com polímeros	kg	2080,00	1,04	2 163,20
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 2 163,20
Custo unitário			A + B + C	R$ 2 610,91
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m^3				R$

Memorial Descritivo

Para executar reparos profundos com argamassa base cimento modificada com polímeros, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Demarcar o contorno da área a ser tratada de acordo com o procedimento descrito no item *10.1.10 Demarcação com disco de corte*, o corte assim realizado deverá ter uma profundidade = 0,5 cm para qualquer superfície estrutural, ou ser =1,00 cm no caso de pisos.
2. Imediatamente após, escarificar a região a ser tratada por um dos procedimentos indicados nos itens *10.1.1 Escarificação manual* ou *10.1.3 Escarificação mecânica*, retirar todo o material solto, mal compactado e segregado, até atingir concreto são.
3. Sempre que necessário, prever escoramento adequado da estrutura.
4. O substrato deverá ser preparado de acordo com o procedimento *11.2.9 Preparação por saturação com água*, após isto será aplicada ponte de aderência sobre a superfície seca, constituída por adesivo à base de resinas acrílicas, como indicado no item *10.12.1 Preparo de ponte de aderência com adesivo base acrílica* mediante o uso de um pincel de pêlo curto.
5. Para o preparo da argamassa de reparo, adicionar o componente B ao componente A, misturar em um misturador mecânico por aproximadamente 3 (três) minutos até obter uma perfeita homogeneização.
6. Para a aplicação da argamassa de reparo, esta deverá ser pressionada fortemente contra o substrato com o auxílio de uma colher de pedreiro ou com as mãos enluvadas, em camadas sucessivas, garantindo a total compactação da argamassa até atingir a máxima espessura recomendada, ≤ 5,0 cm.
7. O acabamento deverá ser dado com desempenadeira de aço, madeira ou feltro (espuma), dependendo do aspecto que se queira conferir à superfície.
8. Fazer a cura úmida por 7 dias ou aplicar duas demãos de membrana de cura com pulverizador antes do início de pega, ou com pincel ou rolo após o início de pega. Nas primeiras 36 horas, evitar a radiação solar direta com o uso de toldos ou outros anteparos.

Este procedimento é especialmente indicado para reparos com espessura variável entre 1,0 e 5,0 cm.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, determinar o volume real dos reparos executados, e expressar seu valor em m³ (metro cúbico).

Os serviços constantes nas etapas serão remunerados de acordo com os preços unitários e critérios existentes no item *10.1.1 Escarificação manual* e no item *10.12.1 Preparo de pontes de aderência com adesivos base acrílica*.

O preço unitário determinado remunera todo o material a ser fornecido, a mão-de-obra para sua aplicação, o desgaste das ferramentas e a depreciação dos equipamentos necessários para executar os serviços relativos às etapas deste memorial descritivo.

10.6.2 Reparos profundos executados com graute base cimento/ microconcreto fluido (3,0 cm ≤ esp. ≤ 30 cm) [m³]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Carpintero	h	6,00	1,61	9,66
Pedreiro	h	4,00	1,61	6,44
Ajudante	h	31,64	1,32	41,76
Leis Sociais	%	129		74,64
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 132,50
Ferramentas/Equipamentos:				
Colher de pedreiro	pç.	0,02	4,90	0,10
Desempenadeira de aço	pç.	0,02	2,80	0,06
Misturador mecânico	h	0,5	1,00	0,50
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,66
Material de Consumo:				
Graute ou microconcreto fluido	kg	1980,00	0,40	792,00
Chapa de madeira prensada resinada reaproveitamento 2 x)	m^2	3,00	5,47	16,41
Sarrafo de pinho 1 x 4"	m	9,00	0,75	6,75
Pregos comuns	kg	0,200	1,10	0,22
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 815,38
Custo unitário			A + B + C	R$ 948,54
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m^3.				R$

Memorial Descritivo

Para executar reparos profundos com graute base cimento/microconcreto fluido, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Demarcar o contorno da área a ser tratada de acordo com o procedimento descrito no item *10.1.10 Demarcação com disco de corte*, o corte assim realizado deverá ter uma profundidade = 0,5 cm para qualquer superfície estrutural.
2. Imediatamente após, escarificar a região a ser tratada por um dos procedimentos indicados nos itens *10.1.1 Escarificação manual* ou *10.1.3 Escarificação mecânica*, retirar todo o material solto, mal compactado e segregado, até atingir concreto são.
3. Sempre que necessário, prever escoramento adequado da estrutura.
4. O substrato deverá ser preparado de acordo com o procedimento *11.2.9 Preparação por saturação com água*, após isto será aplicada ponte de aderência sobre a superfície seca, constituída por adesivo à base de resinas acrílicas, como indicado no item *10.12.2 Preparo de ponte de aderência com adesivo base epóxi*.
5. Para o preparo do graute, em um misturador mecânico adicionar água ao material seco na relação água/pó recomendada pelo fabricante conforme o produto sendo utilizado, misturar e homogeneizar por aproximadamente 3 (três) minutos.
6. Para a aplicação graute, preparar fôrmas estanques e rígidas com alimentador tipo «cachimbo» ou calha.

7. Retirar as fôrmas e, se necessário, fazer a saturação do substrato, ou com a superfície seca aplicar adesivo base epóxi, e recolocar as fôrmas. Verter o Graute/ Microconcreto, respeitando o prazo de pega do adesivo.
8. Evitar a formação de vazios de ar vertendo lenta e continuamente, sempre pelo mesmo lado, até atingir uma altura de 10 cm acima do limite da cavidade a reparar (o cachimbo deverá ser construído 10 cm mais alto que a cavidade). Observar o prazo máximo de lançamento de todo o material, que deve ser de 20 minutos após o preparo da mistura.
9. O acabamento, após a remoção das fôrmas, que ocorrerá no mínimo 24 horas após o lançamento do graute, deverá ser feito cortando os excessos, sempre de baixo para cima, para evitar rupturas, com um disco de corte elétrico, conforme indicado no item *10.1.3 Escarificação mecânica*, ou manualmente, conforme indicado no item *10.1.1 Escarificação manual*. Quando necessário, dar acabamento com argamassa para estucamento na proporção 2:1:1 (cimento Portland:cimento branco: alvaiade ou areia fina), em volume, suavizada com solução de adesivos acrílicos e água na proporção 1:3.
10. Fazer a cura úmida por 7 dias ou aplicar duas demãos de membrana de cura com pulverizador antes do início de pega, ou com pincel ou rolo após o início de pega. Nas primeiras 36 horas, evitar a radiação solar direta com o uso de toldos ou outros anteparos.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo apresentado, deverá ser determinado o volume total de reparos executados, e seu valor será expresso em m³ (metro cúbico). Os serviços constantes nas etapas serão remunerados de acordo com os preços unitários e critérios existentes nos itens *10.1.1 Escarificação manual*, *10.2.9 Preparação por saturação com água*, ou *10.2.7 Limpeza com jato de ar comprimido* e no item *10.12.2 Preparo de pontes de aderência com adesivos base epóxi*. O preço unitário determinado remunera o fornecimento de todo o material a ser utilizado, a mão-de-obra para a elaboração e aplicação do microconcreto, assim como para a confecção das fôrmas, o desgaste das ferramentas e a depreciação das máquinas e equipamentos necessários para a execução dos serviços relativos às etapas deste memorial descritivo.

10.6.3 Reparos profundos executados com argamassa seca tipo *dry pack* sem retração [m³]

Memorial Descritivo

Para executar um reparo com o uso de argamassa seca tipo ***dry pack***, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Demarcar o contorno da área a ser tratada de acordo com o procedimento descrito no item *10.1.10 Demarcação com disco de corte*, o corte assim realizado deverá ter uma profundidade = 0,5 cm para qualquer superfície estrutural.
2. Imediatamente após, escarificar a região a ser tratada por um dos procedimentos indicados nos itens *10.1.1 Escarificação manual* ou *10.1.3 Escarificação mecânica*, retirar todo o material solto, mal compactado e segregado, até atingir concreto são.
3. Sempre que necessário, prever escoramento adequado da estrutura.
4. O substrato deverá ser preparado de acordo com o procedimento *11.2.9 Preparação por saturação com água*, após isto será aplicada ponte de aderência sobre a superfície seca, constituída por adesivo à base de resinas acrílicas, como indicado no item *10.12.2 Preparo de ponte de aderência com adesivo base epóxi*.

5. Para o preparo da argamassa de reparo, em um misturador mecânico, adicionar água ao material seco na relação água/material seco recomendada pelo fabricante, sendo que esta relação normalmente ficará em torno de 0,140. Dependendo do produto que esteja sendo utilizado, misturar e homogeneizar durante 3 minutos.

6. Após a aplicação da ponte de aderência sobre a superfície seca, aplicar a argamassa em camadas finas (cerca de 1,0 cm), compactadas energicamente com um soquete de madeira, procurando respeitar o tempo de manuseio e pega do adesivo utilizado na aplicação da ponte de aderência.

7. A cada duas camadas, incrustar o maior número possível de pedras trituradas pré-lavadas, colocando-as uma a uma na argamassa fresca e compactando-as com o soquete de madeira. Esta operação deverá ser repetida tantas vezes quantas necessárias para preencher corretamente a cavidade.

8. O acabamento deverá ser dado com desempenadeira de aço ou de madeira, dependendo do aspecto que se queira conferir à superfície.

9. A cura deve ser úmida por 7 dias, ou aplicar duas demãos de membrana de cura com pulverizador antes do início de pega, ou com pincel ou rolo, após o início de pega. Nas primeiras 36 horas evitar a radiação solar direta com toldos ou outros obstáculos.

Este procedimento não tem limitante de profundidade, porém apenas poderá ser executado quando for possível manter a argamassa confinada por 3 (três) laterais de concreto.

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	52,00	1,61	83,72
Ajudante	h	26,00	1,32	34,32
Leis Sociais	%	129		152,27
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 270,31
Ferramentas/Equipamentos:				
Colher de pedreiro	h	0,50	1,00	0,50
Desempenadeira de aço	pç.	0,02	4,90	0,10
Misturador mecânico	pç.	0,02	2,80	0,06
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,66
Material de Consumo:				
Fornecimento e preparo de argamassa seca tipo *dry pack*	kg	1218,00	0,67	816,06
Pedra britada nº 1	m^3	0,550	27,86	15,32
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 831,38
Custo unitário			A + B + C	R$ 1 102,35
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m^3				R$

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo apresentado, deverá ser determinado o volume total de reparos executados, e seu valor será expresso em m^3 (metro cúbico).

Os serviços constantes nas etapas serão remunerados de acordo com os preços unitários e critérios existentes nos itens *10.1.1 Escarificação manual*, *10.2.7 Limpeza com jato de ar comprimido*, e *10.12.2 Preparo de pontes de aderência com adesivos base epóxi*.

O preço unitário determinado remunera o fornecimento de todo o material a ser utilizado, a mão-de-obra para a elaboração e aplicação do microconcreto, assim como para a confecção das fôrmas, o desgaste das ferramentas e a depreciação das máquinas e equipamentos necessários para a execução dos serviços relativos às etapas deste memorial descritivo.

10.6.4 Reparos profundos executados com concreto convencional aditivado [m³]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Carpinteiro	h	6,00	1,61	9,66
Pedreiro	h	4,00	1,61	6,44
Ajudante	h	20,00	1,32	26,40
Leis Sociais	%	129		54,82
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 97,32
Ferramentas/Equipamentos:				
Misturador de concreto	h	0,500	1,00	0,50
Vibrador com ponta adequada	h	4,000	0,75	3,00
Colher de pedreiro	pç.	0,020	4,90	0,10
Desempenadeira de aço	pç.	0,020	2,80	0,06
Carrinho de mão	pç.	0,010	24,90	0,25
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 3,91
Material de Consumo:				
Cimento	kg	350,00	0,11	38,50
Pedra n□ 1	m³	0,790	27,86	22,01
Areia média	m³	0,620	25,85	16,03
Aditivo superplastificante (2 %	kg	7,00	5,89	41,23
cimento)	kg	3,15	5,68	17,89
Aditivo expansor	m²	3,00	5,47	16,41
Chapa de madeira prensada resinada (esp. = 12 mm) 6,00 m²/m³				
reaproveitamento 2 x	m	9,00	0,75	6,75
Sarrafo de pinho 1 x 4"	kg	0,20	1,10	0,22
Pregos comuns 18 x 27 e 17 x 21				
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 159,04
Custo unitário			A + B + C	R$ 260,27
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m³				R$

Memorial Descritivo

Para executar um reparo utilizando concreto convencional, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Demarcar o contorno da área a ser tratada de acordo com o procedimento descrito no item *10.1.10 Demarcação com disco de corte*, o corte assim realizado deverá ter uma profundidade = 0,5 cm para qualquer superfície estrutural.
2. Imediatamente após, escarificar a região a ser tratada por um dos procedimentos indicados nos itens *10.1.1 Escarificação manual* ou *10.1.3 Escarificação mecânica*, retirar todo o material solto, mal compactado e segregado, até atingir concreto são.
3. Sempre que necessário, prever escoramento adequado da estrutura.

4. O substrato deverá ser preparado de acordo com o procedimento *11.2.9 Preparação por saturação com água*, após isto será aplicada ponte de aderência sobre a superfície seca, constituída por adesivo à base de resinas acrílicas, como indicado no item *10.12.2 Preparo de ponte de aderência com adesivo base epóxi*, utilizando pincel de pêlo curto.
5. Para o preparo do concreto de reparo, em uma betoneira com capacidade proporcional ao volume que se deseja obter adicionar os materiais e preparar o concreto conforme a boa prática, adicionando superplastificante e aditivo expansor na quantidade recomendada pelo fabricante para obter um abatimento (*slump*) entre 100 a 150 mm, mantendo sempre a relação $água_{total}/cimento \leq 0{,}5$.
6. Para a aplicação do concreto de reparo, preparar fôrmas estanques e rígidas com alimentador tipo «cachimbo» ou calha. Retirar as fôrmas e, se necessário, fazer a saturação do substrato, ou com a superfície seca aplicar adesivo base epóxi, e recolocar as fôrmas. Verter o Graute/Microconcreto, respeitando o prazo de pega do adesivo.
7. Evitar a formação de vazios de ar vertendo lenta e continuamente, sempre pelo mesmo lado, até atingir uma altura de 10 cm acima do limite da cavidade a reparar (o cachimbo deverá ser construído 10 cm mais alto que a cavidade). Compactar com soquetes de madeira ou com vibradores de imersão de pequeno diâmetro. Observar o prazo máximo do efeito do superplastificante, o qual normalmente a temperaturas oscilando entre 20 e 30 °C será de 30 minutos após ser colocado em contato com o cimento.
8. O acabamento, após a remoção das fôrmas, que ocorrerá no mínimo 24 horas após o lançamento do concreto, deverá ser feito cortando os excessos, sempre de baixo para cima, para evitar rupturas, com um disco de corte elétrico, conforme indicado no item *10.1.3 Escarificação mecânica*, ou manualmente, conforme indicado no item *10.1.1 Escarificação manual*. Quando necessário, dar acabamento com argamassa para estucamento na proporção 2:1:1 (cimento Portland:cimento branco: alvaiade ou areia fina), em volume, suavizada com solução de adesivos acrílicos e água na proporção 1:3, como indicado em *10.13.3 Estucamentos*.
8. Fazer a cura úmida por 7 dias ou aplicar duas demãos de membrana de cura com pulverizador antes do início de pega, ou com pincel ou rolo após o início de pega.

Este procedimento é indicado para reparos de qualquer profundidades.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo apresentado, deverá ser determinado o volume total de reparos executados, e seu valor será expresso em m³ (metro cúbico). Os serviços constantes nas etapas serão remunerados de acordo com os preços unitários e critérios existentes nos itens *10.1.1 Escarificação manual*, *10.2.7 Limpeza com jato de ar comprimido* e no item *10.12.1 Preparo de pontes de aderência com adesivos base acrílica*. O preço unitário determinado remunera o fornecimento de todo o material a ser utilizado, a mão-de-obra para a elaboração e aplicação do concreto, assim como para a confecção das fôrmas, o desgaste das ferramentas e a depreciação das máquinas e equipamentos necessários para a execução dos serviços relativos às etapas deste memorial descritivo.

10.6.5 Reparos profundos executados com concreto pré-acondicionado ou concreto injetado [m³]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Carpinteiro	h	12,00	1,61	19,32
Pedreiro	h	6,00	1,61	9,66
Ajudante	h	18,00	1,32	23,76
Leis Sociais	%	129		68,03
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 120,77
Ferramentas/Equipamentos:				
Misturador de argamassa ou concreto	h	0,50	1,00	0,50
Conjunto de bomba de injeção e acessórios	h	6,00	3,50	21,00
Carrinho de mão	pç.	0,01	24,90	0,25
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 21,75
Material de Consumo:				
Cimento	kg	350,00	0,11	38,50
Areia lavada	m³	0,65	25,85	16,80
Ponta arredondada (pedra para	m³	0,72	230,00	165,60
diminuir a angulosidade) (12,5 mm a	kg	7,00	5,89	41,23
40,0 mm)	kg	3,15	5,68	17,89
Superplastificante (2 % da massa do cimento)	m²	8,00	5,47	43,76
Aditivo expansor				
Chapa de madeira prensada resinada (esp. = 12 mm) 16,00 m²/m³	m	24,00	0,75	18,00
reaproveitamento 2 x	kg	0,20	1,10	0,22
Sarrafo de pinho 1" x 4"	m	0,50	2,04	1,02
Pregos 18 x 27 y 17 x 21				
Mangueira transparente □ = 3/4" para respiro				
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 343,02
Custo unitário			A + B + C	R$ 485,54
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m³				R$

Memorial Descritivo

Para executar um reparo com concreto pré-acondicionado ou concreto injetado, adotar o seguinte procedimento:

1. Demarcar o contorno da área a ser tratada de acordo com o procedimento descrito no item *10.1.10 Demarcação com disco de corte*, o corte assim realizado deverá ter uma profundidade = 0,5 cm para qualquer superfície estrutural.
2. Imediatamente após, escarificar a região a ser tratada por um dos procedimentos indicados nos itens *10.1.1 Escarificação manual* ou *10.1.3 Escarificação mecânica*, retirar todo o material solto, mal compactado e segregado, até atingir concreto são.

3. Sempre que necessário, prever escoramento adequado da estrutura.
4. O substrato será limpado de acordo com o procedimento *10.2.9 Preparo de substrato por saturação com água* desta metodologia, e neste caso é dispensável a aplicação de ponte de aderência.
5. Para o preparo do concreto de reparo, o agregado graúdo (pedra) a ser utilizado deverá ser de forma arredondada (seixo rolado), previamente lavado e a dimensão característica das pedras deverá ser ≥ 12,5 mm e ≤ 40,0 mm. Estas pedras serão previamente acondicionadas na cavidade estrutural preparada e posteriormente deverá ser executada a injeção da argamassa, preparada com auxílio de um misturador de concreto, de acordo com os seguintes critérios:
   i. Proporção em massa de 1:1,5 (Cimento:Areia fina e seca) $D_{máx}$ = 1,2 mm
   ii. Relação $água_{total}$/cimento ≤ 0,45.
   iii. Superplastificante em quantidade para obter abatimento (*slump*) entre 100 e 150 mm.
   iv. Aditivo expansor aproximadamente 450 g/saco de cimento.
6. Aplicação do concreto de reparo: Após a colocação das pedras na cavidade estrutural anteriormente preparada, confiná-las com fôrmas estanques e rígidas e injetar água potável.
7. Após a saturação, deixar a água escorrer e injetar a argamassa de cimento e areia de forma lenta e contínua, pela parte mais baixa da fôrma, permitindo que todo o ar seja expulso. No caso de cavidades de grandes dimensões, é altamente recomendável dispor de vários tubos de injeção a intervalos de aproximadamente 50 cm. Observar que o prazo máximo do efeito do superplastificante em temperaturas oscilantes entre 20 e 30 °C será de 30 minutos após seu contato com o cimento.
8. Via de regra, com o uso de fôrmas de boa qualidade não haverá necessidade de acabamento.
9. Fazer a cura úmida por 7 dias ou aplicar duas demãos de membrana de cura com pulverizador antes do início de pega, ou com pincel ou rolo após o início de pega.

Este procedimento é indicado particularmente para a recomposição de seções de elementos estruturais (vigas ou pilares), sem limitantes quanto a profundidade ou espessura.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo apresentado, deverá ser determinado o volume total de reparos executados, e seu valor será expresso em m³ (metro cúbico). Os serviços constantes nas etapas serão remunerados de acordo com os preços unitários e critérios existentes nos itens *10.1.1 Escarificação manual*, ou *10.1.3 Escarificação mecânica* e no item *10.2.9 Preparo de substrato por saturação com água*. O preço unitário determinado remunera o fornecimento de todo o material a ser utilizado, a mão-de-obra para a elaboração e aplicação do concreto, assim como para a confecção das fôrmas, o desgaste das ferramentas e a depreciação das máquinas e equipamentos necessários para a execução dos serviços relativos às etapas deste memorial descritivo.

10.7.1 Proteção das armaduras com tintas de alto teor de zinco [m]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pintor ou Pedreiro	h	0,13	1,61	0,21
Ajudante	h	0,13	1,32	0,17
Leis Sociais	%	129		0,49
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 0,87
Ferramentas/Equipamentos:				
Pincel 1"	pç.	0,01	2,80	0,03
Escova de aço	pç.	0,01	4,60	0,05
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,08
Material de Consumo:				
Primer antioxidante rico em zinco	kg	0,016	17,31	0,28
Solvente	L	0,004	3,08	0,01
Lixa de ferro nº 80	folha	0,100	1,00	0,10
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,39
Custo unitário			A + B + C	R$ 1,34
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m de barra protegida				R$

Memorial Descritivo

Para executar a proteção de barras de aço em estruturas nas quais as armaduras se apresentam corroídas, adotar o seguinte procedimento:

1. O substrato: Remover o concreto ao redor das barras deixando pelo menos 2,50 cm livres e limpar a armadura retirando os produtos de corrosão de acordo com o item *10.1.9 Limpeza com jato de areia,* ou eventualmente executar o serviço de acordo com as especificações do item *10.1.5 Limpeza de substrato por lixamento manual*, desta metodologia. Para a remoção das partículas de pó utilizar ar comprimido ou simplesmente um pincel quando não houver disponibilidade de ar comprimido no local.
2. A seguir, para a proteção da armadura, deverá ser aplicado um *primer* com alto teor de zinco, o qual, antes de sua aplicação, deverá ser muito bem misturado em seu próprio recipiente com o fim de obter a total homogeneização do produto. A secagem do *primer* deverá ocorrer cerca de 30 trinta minutos após sua aplicação.
3. Preparo, aplicação e acabamento da argamassa de reparo: Para cada caso particular será adotada a argamassa de reparo escolhida buscando a solução do problema de cada obra, e esta deverá ser preparada e aplicada considerando o acabamento desejado, de acordo com um dos seguintes itens desta metodologia:
   i. 10.3.1 Reparos executados com argamassa base cimento modificada com polímeros;
   ii. 10.3.2 Reparos executados com argamassa base epóxi .
   iii. 10.3.3 Reparos executados com argamassa base poliéster.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, será determinado o comprimento real da parte das barras de aço nas quais foi aplicado o *primer*, e seu valor será expresso em m (metro).

O preço unitário determinado remunera o material, toda a mão-de-obra e as ferramentas necessárias para a execução dos serviços de desoxidação e limpeza das armaduras, assim como a aplicação e fornecimento do *primer*.

Os serviços referentes à escarificação e preparo do substrato, assim como os de elaboração e preparo da argamassa ou concreto para a reconstituição da estrutura, serão remunerados conforme os critérios específicos referentes a cada item adotado para o reparo da estrutura.

10.7.2 Reparo de armaduras corroídas por ação de cloretos com argamassa ou concreto com adição de inibidores de corrosão [m³]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	10,00	1,61	16,10
Ajudante	h	12,00	1,32	15,84
Leis Sociais	%	129		41,20
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 73,14
Ferramentas/Equipamentos:				
Misturador de concreto ou argamassa	h	0,5	1.00	0,50
Colher de pedreiro	pç.	0,02	4.90	0,10
Desempenadeira de aço	pç.	0,02	2.80	0,06
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,66
Material de Consumo:				
Cimento	kg	350,00	0,11	38,50
Areia média	m³	0,620	25,85	16,03
Pedra n□ 1	m³	0,790	27,86	22,01
Inibidor de corrosão (Nitrito de sódio ou de cálcio),	kg	7,00	5,00	35,00
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 111,54
Custo unitário			A + B + C	R$ 185,34
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m³				R$

Memorial Descritivo

Para introduzir inibidores de corrosão na argamassa ou concreto de reparo, adotar o seguinte procedimento:

1. O substrato: Remover o concreto ao redor das barras deixando pelo menos 2,50 cm livres, de acordo com o prescrito em um dos itens *10.1.1 Escarificação manual* ou *10.1.3 Escarificação mecânica*.
2. Imediatamente após, limpar la armadura retirando os produtos de corrosão, de acordo com o item *10.1.9 Limpeza com jato de areia* ou eventualmente executar o serviço de acordo com as especificações do item *10.1.5 Limpeza de substrato por lixamento manual*, desta metodologia, empregando escovas de aço e lixa de ferro.
3. Lavar bem com jato de água para retirar cloretos dos pites da armadura.
4. Para a remoção dos resíduos, utilizar ar comprimido ou simplesmente um pincel quando não houver disponibilidade de ar comprimido no local.
5. Posteriormente, aplicar sobre a superfície do concreto um adesivo base epóxi que servirá como ponte de aderência e formação de barreira em relação ao concreto contaminado que ainda não foi retirado, conforme descrito no item *10.12.2 Preparo de ponte de aderência com adesivo base epóxi.*
6. Preparo da argamassa ou concreto de reparo: adicionar os diversos componentes, cimento areia e pedra, e com o auxílio de um misturador de argamassa ou concreto, conforme o caso, misturar por aproximadamente 3 (três) minutos, até obter perfeito homogeneização. Dissolver o inibidor de corrosão, formulado à base de nitrito de sódio ou de cálcio, na água da mistura; a quantidade a ser utilizada será de 4 % de inibidor em relação à massa de cimento.
7. Aplicação da argamassa ou concreto de reparo: a argamassa ou concreto de reparo já misturada deverá ser pressionada fortemente contra o substrato em camadas sucessivas de no máximo 1,00 cm cada, até atingir a espessura desejada, desde que esta espessura não seja superior a 2,5 cm. Para o caso de pisos, adotar o mesmo procedimento. No caso de espessuras maiores, defasar em mais de 24 h e manter ranhurada as superfícies que receberão a nova camada de material para facilitar a aderência da camada posterior.
8. O acabamento deverá ser dado com desempenadeira de aço, de madeira ou de feltro, dependendo do acabamento que se queira conferir à superfície.
9. A cura deve ser úmida por 7 dias, ou aplicar duas demãos de membrana de cura com pulverizador antes do início de pega, ou com pincel ou rolo, após o início de pega. Nas primeiras 36 horas evitar a radiação solar direta com toldos ou outros obstáculos.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deverá ser determinado o volume total dos reparos executados, e seu valor será expresso em m^3 (metro cúbico).

Os serviços constantes nas etapas serão remunerados de acordo com os preços unitários e critérios existentes nos itens *10.1.1 Escarificação manual* ou *10.1.3 Escarificação mecânica*, *10.1.9 Limpeza com jato de areia* ou eventualmente *10.1.5 Limpeza de substrato por lixamento manual* e *10.12.1 Preparo de pontes de aderência com adesivos base acrílica*.

O preço unitário determinado remunera o fornecimento de todo o material, toda a mão-de-obra, o desgaste das ferramentas e a depreciação de equipamentos necessários para a execução dos serviços relativos às etapas deste memorial descritivo.

10.8.1 Emendas por traspasse em barras de aço para reconstituição da seção da armadura [kg]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Ferreiro	h	0,16	1,61	0,26
Ajudante de ferreiro	h	0,16	1,32	0,21
Leis Sociais	%	129		0,61
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 1,08
Ferramentas/Equipamentos:				
Máquina de cortar ferro	pç.	0,0001	56,00	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,01
Material de Consumo:				
Aço	kg	1,05	0,73	0,77
Arame recozido n□ 18	kg	0,02	1,50	0,03
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,80
Custo unitário			A + B + C	R$ 1,89
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por kg de aço utilizado				R$

Memorial Descritivo

Para executar reforços e/ou emendas por traspasse de barras de aço, buscando a reconstituição ou aumento da seção de armadura original, adotar o seguinte procedimento:

1. O substrato: Remover o concreto ao redor das barras deixando pelo menos 2,50 cm livres de acordo com o prescrito em um dos itens *10.1.1 Escarificação manual* ou *10.1.3 Escarificação mecânica*.
2. Em seguida, limpar a armadura retirando os produtos de corrosão de acordo com o item *10.1.9 Limpeza com jato de areia* ou eventualmente executar o serviço de acordo com as especificações do item *10.1.5 Limpeza de substrato por lixamento manual*, desta metodologia.
3. Para a remoção dos resíduos utilizar ar comprimido ou simplesmente um pincel quando não houver disponibilidade de ar comprimido no local.
4. Preparo da argamassa de reparo: Dependendo da situação em que se encontre a peça estrutural a ser reforçada, optar pelo uso de uma das argamassas apresentadas nesta metodologia, indicadas na Tabela 10.1. Após determinado o tipo de argamassa a utilizar, aplicá-lo conforme indicado no item específico desta metodologia.
5. Emenda ou reforço das barras de aço por traspasse: Sobrepor um estribo em forma de «U», denominado armadura de costura, ancorando este pelo menos 4 cm de cada lado no concreto são; para tal, fazer um furo no concreto com uma broca de ∅ (1/8") maior que o diâmetro do estribo a ser utilizado, como indicado no item *10.10 Furos em concreto* e preencher o orifício com adesivo estrutural base poliéster introduzindo os estribos conforme descrito no item *10.11 Ancoragem*.

6. Na ausência de uma especificação ou projeto específico que indique a argamassa de reparo a ser utilizada para cobrir a armadura a ser substituída e o comprimento de traspasse a ser adotado, recomenda-se utilizar as informações constantes nas Tabela 10.1 e Tabela 10.2.
7. Aplicação da argamassa de reparo: De acordo com o especificado para a argamassa usada.
8. O acabamento deverá ser de acordo com o especificado para a argamassa usada.
9. A cura deverá ser de acordo com o especificado para a argamassa usada.

Tabela 10.1 Recomendações para a seleção de argamassas de reparo mais adequadas.

Tipo de argamassa	**Uso recomendado**
argamassa base cimento	em locais onde o meio ambiente apresente pequena agressividade
argamassa e graute base epóxi	em locais onde o meio ambiente apresente elevada agressividade
argamassa base poliéster	em locais onde o meio ambiente apresente elevada agressividade e quando são destinados a pequenas espessuras
graute base cimento	em locais onde o meio ambiente apresente pequena agressividade

Tabela 10.2 Recomendações para a determinação da longitude de traspasse em função do ∅ da armadura

Comprimento de traspasse recomendados na ausência de especificação		
armaduras comprimidas	**armaduras tracionadas Ø ≤ 12,5 mm** **50 % de emendas na mesma seção**	**100 % de emendas na mesma seção**
L ≥ 40 Ø	*L ≥ 40 Ø*	*L ≥ 60 Ø*
L ≥ 30 Ø	*L ≥ 30 Ø*	*L ≥ 45 Ø*

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deverá ser determinado o peso (massa) total de aço utilizado, conforme indicado no projeto, ou na ausência do mesmo, por levantamento realizado em campo, de comum acordo entre a fiscalização e a construtora.

O preço unitário remunera pelo aço empregado e toda a mão-de-obra e ferramentas relativas ao fornecimento e colocação da armadura.

Todos os demais serviços que antecedem ou precedem as operações de emenda por traspasse de armaduras, tais como preparo do substrato, ponte de aderência, ancoragem dos estribos de costura e preparo e aplicação da argamassa para a recomposicção da estrutura, serão remunerados de acordo com o respectivo item deste memorial.

10.8.2 Emendas por solda de topo em barras de aço para reconstituição da seção de armadura [un]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Eletricista	h	0,20	161	0,32
Ajudante de eletricista	h	0,20	1,32	0,26
Leis Sociais	%	129		0,75
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 1,33
Ferramentas/Equipamentos:				
Máquina de solda portátil com capacidade até 175 A.	h	0,20	1,00	0,20
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,20
Material de Consumo:				
Eletrodo E 7018 ou E 6013 (AWS).	kg	0,05	2,75	0,14
Pontas de ferro auxiliares	kg	0,50	0,78	0,39
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,53
Custo unitário			A + B + C	R$ 2,06
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por barra emendada				R$

Memorial Descritivo

Para executar reforços e/ou emendas por solda de barras de aço buscando a reconstituição ou aumento da seção de armadura original, adotar o seguinte procedimento:

1. As barras a serem emendadas deverão ter no mínimo 30 cm de sua extremidade totalmente livre para permitir a colocação e soldagem da armadura auxiliar de suporte.
2. O substrato: Remover o concreto ao redor das barras deixando pelo menos 2,50 cm livres, de acordo com o prescrito em um dos itens *10.1.1 Escarificação manual* ou *10.1.3 Escarificação mecânica*.
3. Imediatamente após, limpar a armadura retirando os produtos de corrosão, conforme o item *10.1.9 Limpeza com jato de areia* ou eventualmente executar o serviço, de acordo com as especificações do item *10.1.5 Limpeza de substrato por lixamento manual*.
4. Para a remoção dos resíduos, proceder de acordo com o item *10.2.7 Limpeza com jato de ar comprimido*, ou simplesmente utilizar um pincel quando não houver disponibilidade de ar comprimido no local.
5. Preparo da argamassa de reparo: Dependendo da situação em que se encontre a peça estrutural a ser reforçada, optar pelo uso de uma das argamassas apresentadas anteriormente e indicadas na Tabela 1. Após determinar o tipo de argamassa a utilizar aplicá-la conforme indicado no item específico desta metodologia.
6. Emenda ou reforço de armadura: Nas barras de aço emendadas por traspasse, sobrepor um estribo na forma de «U», denominado armadura de costura, ancorando este pelo menos 4,00 cm de cada lado no concreto são; para tal, fazer um furo no

concreto com uma broca de ∅ (1/8") maior que o diâmetro da barra de aço a ser utilizada para este fim, conforme indicado no item *10.10 Furos em concreto*, e preencher o orifício com aditivo estrutural base poliéster introduzindo os estribos conforme descrito no item *10.11 Ancoragem.*

7. Empregar solda unicamente para barras de aço laminado a quente.
8. Preferencialmente a solda deve ser aplicada nos dois lados da barra e executada com a utilização de eletrodo E 7018 ou E 6013 (AWS) e uma máquina de solda portátil.
9. Após aplicar uma passada (cordão) de solda, esperar esta esfriar, até poder tocá-la com as mãos antes de aplicar a segunda camada.
10. Em situações de maior responsabilidade, não é recomendado o uso de solda, pois o mesmo pode conduzir à fragilização do aço.
11. A aplicação da argamassa de reparo deve ser feita conforme especificação para a argamassa utilizada.
12. O acabamento deve ser feito conforme especificação para a argamassa utilizada.
13. A cura deve ser feita conforme especificação para a argamassa utilizada.

Tabela 10.3 Recomendações para a seleção de argamassas de reparo mais adequadas.

Tipo de argamassa	**Uso recomendado**
argamassa base cimento	em locais onde o meio ambiente apresente pequena agressividade
argamassa e graute base epóxi	em locais onde o meio ambiente apresente elevada agressividade
argamassa base poliéster	*em locais onde o meio ambiente apresente elevada agressividade e quando são destinados a pequenas espessuras*
graute base cimento	em locais onde o meio ambiente apresente pequena agressividade

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deverá ser determinado o número total de cordões de solda executados, e seu valor expresso em un. (unidades).

O número mínimo de cordões de solda por emenda será de 4 (quatro) unidades.

O preço unitário determinado remunera única e exclusivamente as atividades relativas aos serviços de solda, fornecimento e aplicação dos eletrodos, fornecimento e solda dos pontos de ferro auxiliares, toda a mão-de-obra para a fixação das barras a serem soldadas, assim como a depreciação da máquina de solda e das ferramentas necessárias para a execução dos serviços.

Todos os demais serviços que antecedem ou precedem as operações de solda das barras de aço, tais como preparo do substrato, fornecimento, corte e dobra das armaduras a serem soldadas, ancoragem dos estribos de costura, preparo e aplicação de argamassa ou concreto para recomposição da estrutura e aplicação de ponte de aderência, serão remunerados de acordo com o respectivo item deste manual.

10.9 Reparos Estruturais por Injeção de Fissuras

10.9.1 Injeção de resina base epóxi em fissuras de 0,3 mm a 9,0 mm de espessura [m]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	1,50	1,61	2,42
Ajudante	h	1,60	1,32	2,11
Leis Sociais	%	129		5,84
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 10,37
Ferramentas/Equipamentos:				
Central de injeção de resina com tanque, regulador de pressão e compressor	h	1,00	3,50	3,50
Misturador mecânico	h	0,60	1,00	0,60
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 4,10
Material de Consumo:				
Tubos plásticos para injeção de graute	m	1,00	2,04	2,04
Pasta tixotrópica base poliéster (selante de fissura)	kg	0,20	2,78	0,56
Pasta de alto desempenho para injeção base epóxi	kg	2,10	17,48	36,71
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 39,31
Custo unitário			A + B + C	R$ 53,78
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m de fissura tratada				R$

Memorial Descritivo

Para reparar uma estrutura por injeção de resina base epóxi, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Substrato, ou seja, a parte interna das fissuras: Deverá ser limpado com ar comprimido e eventualmente com jato de água, e neste último caso será necessário secar a fissura antes de iniciar o reparo.
2. Preparo da resina: adicionar o componente A ao componente B na proporção indicada pelo fabricante, e homogeneizar por 3 minutos em misturador mecânico.
3. Tratamento prévio das fissuras: Ao longo das fissuras serão fixados tubos plásticos ou niples para injeção, respeitando as aberturas de fissura indicadas a seguir:

espessura de fissura	espaçamento indicado
≤ 1,0 mm	a cada 5 cm
entre 1,0 a 9,0 mm	a cada 30 cm

1. A fixação desses tubos plásticos deverá ser executada com argamassa base poliéster; a seguir, limpar a fissura com água sob pressão e secar com jato de ar comprimido. Selar a fissura com argamassa base poliéster em todo o seu contorno.
2. Limpar novamente com ar comprimido comprovando a comunicação da injeção e a eficiência do selo.
3. Injeção de resina base epóxi: Injetar a resina, sempre de baixo para cima, ou de um lado para o outro. Quando o material aflorar no tubo adjacente, selar o tubo anterior e continuar a injeção a partir deste, e assim sucessivamente.
4. Acabamento: 24 horas após, retirar o excesso e dar acabamento com argamassa base cimento modificada com polímeros, ajustada com a cor do concreto.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deverá ser determinada a extensão (comprimento) real das fissuras recuperadas, e seu valor deverá ser expresso em m (metro).

O valor determinado para a remuneração dos serviços de injeção deverá ser apresentado com uma casa decimal, sempre arredondado para mais.

O preço unitário determinado remunera o fornecimento do material, toda a mão-de-obra para sua aplicação, assim como o desgaste das ferramentas e a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços de injeção descritos neste memorial. A execução dos furos na estrutura de concreto para a instalação das mangueiras plásticas deve ser remunerada de acordo com preços unitários e critérios de um dos itens *10.10 Furos em concreto.*

Os serviços de acabamento na superfície devem ser remunerados de acordo com os preços unitários e critérios correspondentes.

10.9.2 Injeção de fissuras com graute base epóxi em aberturas de 10 a 40 mm [m]

Memorial Descritivo

Para reparar uma estrutura com aplicação de graute base epóxi, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Substrato, a parte interna das fissuras: Deverá ser limpado com ar comprimido, ou eventualmente água; neste último caso, haverá necessidade de secar a fissura antes do início do reparo.
2. Preparo do graute: Adicionar o componente A ao componente B na proporção indicada pelo fabricante usando misturador mecânico, e homogeneizar por 3 minutos.
3. A seguir, adicionar o componente C (agregados), misturar e homogeneizar por mais 3 minutos.
4. Tratamento prévio das fissuras: Quando as fissuras atravessam a peça de um lado ao outro, estas deverão receber um tratamento prévio que consiste em selar um lado e preparar um funil alimentador ou pequenas protuberâcias de argamasssa para permitir dirigir o material de preenchimento pelo lado oposto.
5. Aplicação do graute: Verter o graute, sempre pelo mesmo lado, para evitar a formação de vazio de ar até o preenchimento total. A temperatura ideal para a realização deste trabalho está entre 10 °C e 30 °C.
6. Acabamento: Retirar o excesso depois de duas horas, sempre de baixo para cima.

7. Precauções: Para garantir a segurança do funcionário, exigir que o trabalho seja executado com a utilização de luvas e óculos de segurança. Para a limpeza das ferramentas, utilizar o solvente recomendado pelo fabricante.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deverá ser determinada a extensão (comprimento) real das fissuras recuperadas, e seu valor deverá ser expresso em m (metro).
O valor determinado para a remuneração dos serviços de reparos será apresentado com uma casa decimal, sempre arredondando a mesma para cima.

O preço unitário determinado remunera o fornecimento do material, toda a mão-de-obra para sua aplicação, assim como o desgaste das ferramentas e a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços de injeção descritos neste memorial. Os serviços de acabamento da superfície deverão ser remunerados de acordo com os preços unitários e critérios correspondentes.

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Carpinteiro	h	0,50	1,61	0,80
Pedreiro	h	0,50	1,61	0,80
Ajudante	h	0,50	1,32	0,66
Leis Sociais	%	129		2,92
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 5,18
Ferramentas/Equipamentos:				
Misturador mecânico	h	0,20	1,00	0,20
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,20
Material de Consumo:				
Chapa de madeira prensada resinada (12 mm) para selamento de fissura	m^2	0,10	5,47	0,55
Arame recozido 18	kg	0,02	1,50	0,03
Sarrafo 1"x2"	m	0,25	0,38	0,09
Argamassa ou graute base epóxi para vedação de fissuras entre 10 e 40 mm.	kg	3,50	8,00	28,00
Solvente para produtos base epóxi	L	0,12	5,12	0,61
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 29,28
Custo unitário			A + B + C	R$ 34,66
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m de junta				R$

10.9.3 Injeção de fissuras com graute base epóxi em aberturas de 35 a 70 mm de espessura [m]

Memorial Descritivo

Para reparar uma estrutura com aplicação de graute base epóxi, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Substrato, a parte interna das fissuras: Deverá ser limpado com ar comprimido, ou eventualmente com jato d'água; neste último caso, haverá necessidade de secar o vão antes do início do reparo.
2. Preparo do graute: Adicionar o componente A ao componente B na proporção indicada pelo fabricante usando misturador mecânico, e homogeneizar por 3 minutos.
3. A seguir, adicionar o componente C (agregados), misturar e homogeneizar por mais 3 minutos.
4. Tratamento prévio das fissuras: Quando as fissuras atravessam a peça de um lado ao outro, estas deverão receber um tratamento prévio que consiste em selar um lado e preparar um funil alimentador ou pequenas protuberâcias de argamasssa para permitir dirigir o material de preenchimento pelo lado oposto.
5. Aplicação do graute: Verter o graute, sempre pelo mesmo lado, para evitar a formação de vazio de ar até o preenchimento total. A temperatura ideal para a realização deste trabalho está entre 10 °C e 30 °C.
6. Acabamento: Retirar o excesso depois de duas horas, sempre de baixo para cima.
7. Precauções: Para garantir a segurança do funcionário, exigir que o trabalho seja executado com a utilização de luvas e óculos de segurança. Para a limpeza das ferramentas, utilizar o solvente recomendado pelo fabricante.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deverá ser determinada a extensão (comprimento) real das fissuras recuperadas, e seu valor deverá ser expresso em m (metro).

O valor determinado para a remuneração dos serviços de reparos será apresentado com uma casa decimal, sempre arredondando para mais.

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Carpinteiro	h	0,50	1,61	0,80
Pedreiro	h	0,50	1,61	0,80
Ajudante	h	0,50	1,32	0,66
Leis Sociais	%	129		2,92
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 5,18
Ferramentas/Equipamentos:				
Misturador mecânico	h	0,20	1,00	0,20
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,20
Material de Consumo:				
Chapa de madeira prensada resinada (12 mm) para o selamento de fissuras	m^2	0,10	5,47	0,55
Arame recozido 18	kg	0,02	1,50	0,03
Sarrafo 1"x2"	m	0,25	0,38	0,09
Argamassa ou graute base epóxi (para vedação de vazios entre 35 e 70 mm.)	kg	5,30	6,60	34,98
Solvente para produtos base epóxi	L	0,12	5,12	0,61
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 36,27
Custo unitário			A + B + C	R$ 41,65
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m de fissura				R$

O preço unitário determinado remunera o fornecimento do material, toda a mão-de-obra para sua aplicação, assim como o desgaste das ferramentas e a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços de injeção descritos neste memorial. Os serviços de acabamento da superfície deverão ser remunerados de acordo com os preços unitários e critérios correspondentes.

10.9.4 Tratamento de microfissuras por silicatação ou fluossilicatação [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	0,27	1,61	0,43
Ajudante	h	0,27	1,32	0,36
Leis Sociais	%	129		1,02
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 1,81
Ferramentas/Equipamentos:				
Rolo de lã de carneiro	pç.	0,02	3,80	0,08
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,08
Material de Consumo:				
Produto à base de silicato de cálcio	kg	0,25	6,88	1,72
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 1,72
Custo unitário			A + B + C	R$ 3,61
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço				R$

Memorial Descritivo

Para tratar uma superfície com produtos à base de silicatos de cálcio ou de fluossilicatos, deverá ser adotado o seguinte procedimento:

1. Substrato: Lavar, limpar e desengraxar a superfície por qualquer dos métodos indicados no item *10.2 Procedimentos para a limpeza do substrato.*
2. Preparo da solução: Diluir o silicato em água, procurando facilitar sua penetração nos poros e microfissuras do concreto. Caso for aplicado puro, não apresentará desempenho satisfatório por ser viscoso.
3. Aplicação da solução: Para os produtos encontrados normalmente no mercado, é recomendável pelo menos o tratamento em 3 demãos durante três dias consecutivos utilizando as concentrações indicadas:
   i. 1° dia - solução 1 parte de silicato : 4 partes de água.
   ii. 2° dia - solução 1 parte de silicato : 3 partes de água
   iii. 3° dia - solução 1 parte de silicato : 2 partes de água.
4. Antes da aplicação da nova demão, certificar-se de que a anterior esteja totalmente seca e endurecida ao contato manual, sendo aconselhável nesta ocasão que a superfície seja novamente lavada com água para a remoção dos cristais que tenham-se formado sem se incorporar ao concreto.

O efeito do tratamento químico superficial compacta e endurece a superfície, tornando este tratamento indicado para a proteção de estruturas e pisos de concreto contra a

ação de destilados de alcatrão, como o creosoto, crisol, fenol, óleos vegetais e águas ácidas, salgadas e salinas, além de servir como tratamento antipó para pisos.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima, deverá ser determinada a área real da superfície tratada tendo em conta todo o tipo de irregularidades que a área em tratamento apresente e descontando-se os vãos e interferências quaisquer que sejam suas dimensões. O valor determinado deverá ser expresso em m².(metro quadrado)

O valor final dos serviços executados deverá ser apresentado com uma casa decimal, sempre arredondado para mais.

O preço unitário deste serviço remunera fornecimento do material e a mão-de-obra para sua aplicação, além do desgaste das ferramentas necessárias para sua aplicação.

10.10 Furos em Concreto

10.10.1 Furo em concreto com ∅ =1" e profundidade 5 cm [un]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Ajudante	h	0,38	1.32	0,50
Leis Sociais	%	129		0,65
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 1,15
Ferramentas/Equipamentos:				
Furadeira elétrica mod. profissional	h	0,33	0,80	0,26
Compressor de ar portátil para limpeza da cavidade	h	0,05	0,30	0,02
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,28
Material de Consumo:				
Broca com ponta de Wídia (zircônio) (Ø = 1" x 330mm)	pç.	0,03	22,00	0,66
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,66
Custo unitário			A + B + C	R$ 2,09
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por unidade				R$

Memorial Descritivo

Para executar furos em concreto com ∅ = 1" e profundidade 5 cm, adotar o seguinte procedimento:

1. Utilizar furadeira elétrica com percussão (martelo), de linha profissional, dotadas de brocas ∅ = 1" com pontas de vídia (zircônio) ou diamante.

2. Manter o equipamento em funcionamento na posição ortogonal à superfície do concreto até que seja alcançada a profundidade desejada.
3. O controle da profundidade alcançada pode ser executado mediante a marcação prévia com tinta vermelha ou fita adesiva na broca em operação, ou ainda utilizando o controle da furadeira, se houver.
4. Após atingir a profundidade correta, retirar o excesso de pó com ar comprimido ou jato de água sob pressão.

A partir deste momento, o furo estará pronto para uso, devendo-se introduzir o expansor mecânico previsto ou introduzir a resina adequada para a ancoragem de barras de espera.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deferá ser determinado o número total de furos realizados de um mesmo diâmetro, e seu valor deverá ser expresso em un. (unidade).

O preço unitário determinado remunera toda a mão-de-obra, o desgaste das ferramentas e a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços de perfuração e limpeza dos orifícios.

10.10.2 Furo em concreto com ∅ =1" e profundidade 15 cm [un]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Ajudante	h	0,96	1.32	1,27
Leis Sociais	%	129		1,64
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 2,91
Ferramentas/Equipamentos:				
Furadeira elétrica mod. profissional	h	0,90	0,80	0,72
Compressor de ar portátil para limpeza do furo	h	0,06	0,30	0,02
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,74
Material de Consumo:				
Broca de 1" dotada de ponta de Wídea (zircônio)(Ø = 1" x 330 mm)	pç.	0,06	22,00	1,32
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 1,32
Custo unitário			A + B + C	R$ 4,97
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por unidade				R$

Memorial Descritivo

Para executar furos em concreto com ∅ = 1" e profundidade 15 cm, adotar o seguinte procedimento:

1. Utilizar furadeira elétrica com percussão (martelo), de linha profissional, dotadas de brocas ∅ = 1" com pontas de vídia (zircônio) ou diamante.

2. Manter o equipamento em funcionamento na posição ortogonal à superfície do concreto até que seja alcançada a profundidade desejada.
3. O controle da profundidade alcançada pode ser executado mediante a marcação prévia com tinta vermelha ou fita adesiva na broca em operação, ou ainda utilizando o controle da furadeira, se houver.
4. Após atingir a profundidade correta, retirar o excesso de pó com ar comprimido ou jato de água sob pressão.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deferá ser determinado o número total de furos realizados de um mesmo diâmetro, e seu valor deverá ser expresso em un. (unidade).

O preço unitário determinado remunera toda a mão-de-obra, o desgaste das ferramentas e a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços de perfuração e limpeza dos orifícios.

10.10.3 Furo em concreto com ∅ =1" e profundidade 30 cm [un]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Ajudante	h	0,30	1,32	0,40
Leis Sociais	%	129		0,52
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 0,92
Ferramentas/Equipamentos:				
Equipamento de perfuração tipo Hilti (DD- 80)	h	0,25	5,00	1,25
Compressor de ar portátil com filtro de óleo acoplado, para limpeza do furo	h	0,05	0,30	0,02
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 1,27
Material de Consumo:				
Broca extratora com ponta de diamante (Ø = 1" x 40 cm)	pç.	0,02	300,00	6,00
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 6,00
Custo unitário			A + B + C	R$ 8,19
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por unidade				R$

Memorial Descritivo

Para executar furos em concreto com ∅ = 1" e profundidade 30 cm, adotar o seguinte procedimento:

1. Utilizar furadeira elétrica com percussão (martelo), de linha profissional, dotadas de brocas ∅ = 1" com pontas de vídia (zircônio) ou diamante.
2. Manter o equipamento em funcionamento na posição ortogonal à superfície do concreto até que seja alcançada a profundidade desejada.

3. O controle da profundidade alcançada pode ser executado mediante a marcação prévia com tinta vermelha ou fita adesiva na broca em operação, ou ainda utilizando o controle da furadeira, se houver.
4. Após atingir a profundidade correta, retirar o excesso de pó com ar comprimido ou jato de água sob pressão.

A partir deste momento, o furo estará pronto para uso, devendo-se introduzir o expansor mecânico previsto ou introduzir a resina adequada para a ancoragem de barras de espera.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deferá ser determinado o número total de furos realizados de um mesmo diâmetro, e seu valor deverá ser expresso em un. (unidade).

O preço unitário determinado remunera toda a mão-de-obra, o desgaste das ferramentas e a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços de perfuração e limpeza dos orifícios.

10.10.4 Furo em concreto com ∅ =3/4" e profundidade 5 cm [un]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Ajudante	h	0,35	1.32	0,46
Leis Sociais	%	129		0,60
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 1,06
Ferramentas/Equipamentos:				
Furadeira elétrica mod. profissional	h	0,30	0,80	0,24
Compressor de ar portátil com filtro de óleo acoplado, para limpeza do furo	h	0,05	0,30	0,02
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,26
Material de Consumo:				
Broca com ponta de Wídea (zircônio) (Ø = 3/4" x 330 mm)	pç.	0,03	14,00	0,42
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,42
Custo unitário			A + B + C	R$ 1,73
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por unidade				R$

Memorial Descritivo

Para executar furos em concreto com ∅ = 3/4" e profundidade 5 cm, adotar o seguinte procedimento:

1. Utilizar furadeira elétrica com percussão (martelo), de linha profissional, dotadas de brocas ∅ = 3/4" com pontas de vídia (zircônio) ou diamante.

2. Manter o equipamento em funcionamento na posição ortogonal à superfície do concreto até que seja alcançada a profundidade desejada.
3. O controle da profundidade alcançada pode ser executado mediante a marcação prévia com tinta vermelha ou fita adesiva na broca em operação, ou ainda utilizando o controle da furadeira, se houver.
4. Após atingir a profundidade correta, retirar o excesso de pó com ar comprimido ou jato de água sob pressão.

A partir deste momento, o furo estará pronto para uso, devendo-se introduzir o expansor mecânico previsto ou introduzir a resina adequada para a ancoragem de barras de espera.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deferá ser determinado o número total de furos realizados de um mesmo diâmetro, e seu valor deverá ser expresso em un. (unidade).

O preço unitário determinado remunera toda a mão-de-obra, o desgaste das ferramentas e a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços de perfuração e limpeza dos orifícios.

10.10.5 Furo em concreto com ∅ =3/4" e profundidade 15 cm [un]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Ajudante	h	0,90	1,32	1,19
Leis Sociais	%	129		1,53
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 2,72
Ferramentas/Equipamentos:				
Furadeira elétrica mod. profissional	h	0,85	0,80	0,68
Compressor de ar portátil com filtro de óleo acoplado, para limpeza do furo	h	0,05	0,30	0,02
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,70
Material de Consumo:				
Broca com ponta de Wídea (zircônio) (Ø = 3/4 x 40 cm)	pç.	0,06	14,00	0,64
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,64
Custo unitário			A + B + C	R$ 4,06
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por unidade				R$

Memorial Descritivo

Para executar furos em concreto com ∅ = 3/4" e profundidade 15 cm, adotar o seguinte procedimento:

1. Utilizar furadeira elétrica com percussão (martelo), de linha profissional, dotadas de brocas ∅ = 3/4" com pontas de vídia (zircônio) ou diamante.
2. Manter o equipamento em funcionamento na posição ortogonal à superfície do concreto até que seja alcançada a profundidade desejada.
3. O controle da profundidade alcançada pode ser executado mediante a marcação prévia com tinta vermelha ou fita adesiva na broca em operação, ou ainda utilizando o controle da furadeira, se houver.
4. Após atingir a profundidade correta, retirar o excesso de pó com ar comprimido ou jato de água sob pressão.

A partir deste momento, o furo estará pronto para uso, devendo-se introduzir o expansor mecânico previsto ou introduzir a resina adequada para a ancoragem de barras de espera.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deferá ser determinado o número total de furos realizados de um mesmo diâmetro, e seu valor deverá ser expresso em un. (unidade).

O preço unitário determinado remunera toda a mão-de-obra, o desgaste das ferramentas e a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços de perfuração e limpeza dos orifícios.

10.10.6 Furo em concreto com ∅ =3/4" e profundidade 30 cm [un]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Ajudante	h	0,27	1,32	0,36
Leis Sociais	%	129		0,46
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 0,82
Ferramentas/Equipamentos:				
Equipamento de perfuração tipo Hilti (DD- 80)	h	0,22	5,00	1,10
Compressor de ar portátil com filtro de óleo acoplado, para limpeza do furo	h	0,05	0,30	0,02
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 1,12
Material de Consumo:				
Broca extratora com ponta de diamante (Ø = 3/4" x 40 cm)	pç.	0,02	280,00	5,60
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 5,60
Custo unitário			A + B + C	R$ 7,54
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por unidade				R$

Memorial Descritivo

Para executar furos em concreto com ∅ = 3/4" e profundidade 30 cm, adotar o seguinte procedimento:

1. Utilizar furadeira elétrica com percussão (martelo), de linha profissional, dotadas de brocas ∅ = 3/4" com pontas de vídia (zircônio) ou diamante.
2. Manter o equipamento em funcionamento na posição ortogonal à superfície do concreto até que seja alcançada a profundidade desejada.
3. O controle da profundidade alcançada pode ser executado mediante a marcação prévia com tinta vermelha ou fita adesiva na broca em operação, ou ainda utilizando o controle da furadeira, se houver.
4. Após atingir a profundidade correta, retirar o excesso de pó com ar comprimido ou jato de água sob pressão.

A partir deste momento, o furo estará pronto para uso, devendo-se introduzir o expansor mecânico previsto ou introduzir a resina adequada para a ancoragem de barras de espera.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deferá ser determinado o número total de furos realizados de um mesmo diâmetro, e seu valor deverá ser expresso em un. (unidade).

O preço unitário determinado remunera toda a mão-de-obra, o desgaste das ferramentas e a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços de perfuração e limpeza dos orifícios.

10.10.7 Furo em concreto com ∅ =1/2" e profundidade 5 cm [un]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Ajudante	h	0,27	1.32	0,36
Leis Sociais	%	129		0,46
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 0,82
Ferramentas/Equipamentos:				
Furadeira elétrica mod. profissional	h	0,22	0,80	0,18
Compressor de ar portátil com filtro de óleo acoplado, para limpeza do furo	h	0,05	0,30	0,02
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,20
Material de Consumo:				
Broca com ponta de Wídea (zircônio) (Ø = 1/2" x 250 mm)	pç.	0,03	9,80	0,29
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,29
Custo unitário			A + B + C	R$ 1,31
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por unidade				R$

Memorial Descritivo

Para executar furos em concreto com ∅ = 1/2" e profundidade 5 cm, adotar o seguinte procedimento:

1. Utilizar furadeira elétrica com percussão (martelo), de linha profissional, dotadas de brocas ∅ = 1/2" com pontas de vídia (zircônio) ou diamante.
2. Manter o equipamento em funcionamento na posição ortogonal à superfície do concreto até que seja alcançada a profundidade desejada.
3. O controle da profundidade alcançada pode ser executado mediante a marcação prévia com tinta vermelha ou fita adesiva na broca em operação, ou ainda utilizando o controle da furadeira, se houver.
4. Após atingir a profundidade correta, retirar o excesso de pó com ar comprimido ou jato de água sob pressão.

A partir deste momento, o furo estará pronto para uso, devendo-se introduzir o expansor mecânico previsto ou introduzir a resina adequada para a ancoragem de barras de espera.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deferá ser determinado o número total de furos realizados de um mesmo diâmetro, e seu valor deverá ser expresso em un. (unidade).

O preço unitário determinado remunera toda a mão-de-obra, o desgaste das ferramentas e a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços de perfuração e limpeza dos orifícios.

10.10.8 Furo em concreto com ∅ =1/2" e profundidade 15 cm [un]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Ajudante	h	0,81	1,32	1,07
Leis Sociais	%	129		1,38
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 2,45
Ferramentas/Equipamentos:				
Furadeira elétrica mod. profissional	h	0,76	0,80	0,61
Compressor de ar portátil com filtro de óleo acoplado, para limpeza do furo	h	0,05	0,30	0,02
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,63
Material de Consumo:				
Broca com ponta de Wídea (zircônio) (Ø = 1/2" x 250 mm)	pç.	0,01	9,80	0,10
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,10
Custo unitário			A + B + C	R$ 3,18
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por unidade				R$

Memorial Descritivo

Para executar furos em concreto com ∅ = 1/2" e profundidade 15 cm, adotar o seguinte procedimento:

1. Utilizar furadeira elétrica com percussão (martelo), de linha profissional, dotadas de brocas ∅ = 1/2" com pontas de vídia (zircônio) ou diamante.
2. Manter o equipamento em funcionamento na posição ortogonal à superfície do concreto até que seja alcançada a profundidade desejada.
3. O controle da profundidade alcançada pode ser executado mediante a marcação prévia com tinta vermelha ou fita adesiva na broca em operação, ou ainda utilizando o controle da furadeira, se houver.
4. Após atingir a profundidade correta, retirar o excesso de pó com ar comprimido ou jato de água sob pressão.

A partir deste momento, o furo estará pronto para uso, devendo-se introduzir o expansor mecânico previsto ou introduzir a resina adequada para a ancoragem de barras de espera.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deferá ser determinado o número total de furos realizados de um mesmo diâmetro, e seu valor deverá ser expresso em un. (unidade).

O preço unitário determinado remunera toda a mão-de-obra, o desgaste das ferramentas e a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços de perfuração e limpeza dos orifícios.

10.10.9 Furo em concreto com ∅ =1/2" e profundidade 30 cm [un]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Ajudante	h	0,25	1,32	0,33
Leis Sociais	%	129		0,43
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 0,76
Ferramentas/Equipamentos:				
Equipamento de perfuração tipo Hilti (DD- 80)	h	0,20	5,00	1,00
Compressor de ar portátil com filtro de óleo acoplado, para limpeza do furo	h	0,05	0,30	0,02
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 1,02
Material de Consumo:				
Broca extratora com ponta de diamante (∅ = 1/2 x 40 cm)	pç.	0,02	265,00	5,30
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 5,30
Custo unitário			A + B + C	R $ 7,08
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por unidade				R$

Memorial Descritivo

Para executar furos em concreto com ∅ = 1/2" e profundidade 30 cm, adotar o seguinte procedimento:

1. Utilizar furadeira elétrica com percussão (impacto), de linha profissional, dotadas de brocas ∅ = 1/2" com pontas de vídia (zircônio) ou diamante.
1. Manter o equipamento em funcionamento na posição ortogonal à superfície do concreto até que seja alcançada a profundidade desejada.
2. O controle da profundidade alcançada pode ser executado mediante a marcação prévia com tinta vermelha ou fita adesiva na broca em operação, ou ainda utilizando o controle da furadeira, se houver.
3. Após atingir a profundidade correta, retirar o excesso de pó com ar comprimido ou jato de água sob pressão.

A partir deste momento, o furo estará pronto para uso, devendo-se introduzir o expansor mecânico previsto ou introduzir a resina adequada para a ancoragem de barras de espera.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deferá ser determinado o número total de furos realizados de um mesmo diâmetro, e seu valor deverá ser expresso em un. (unidade).

O preço unitário determinado remunera toda a mão-de-obra, o desgaste das ferramentas e a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços de perfuração e limpeza dos orifícios.

10.10.10 Furo em concreto com ∅ =3/8" e profundidade 5 cm [un]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra::				
Ajudante	h	0,24	1.32	0,32
Leis Sociais	%	129		0,41
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 0,73
Ferramentas/Equipamentos:				
Furadeira elétrica mod. profissional	h	0,19	0,80	0,15
Compressor de ar portátil com filtro de óleo acoplado, para limpeza do furo	h	0,05	0,30	0,02
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,17
Material de Consumo:				
Broca com ponta de Wídea (zircônio) (∅ = 3/8 x 250 mm)	pç.	0,03	6,00	0,18
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,18
Custo unitário			A + B + C	R$ 1,08
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por unidade				R$

Memorial Descritivo

Para executar furos em concreto com ∅ = 3/8" e profundidade 5 cm, adotar o seguinte procedimento:

1. Utilizar furadeira elétrica com percussão (martelo), de linha profissional, dotadas de brocas ∅ = 3/8" com pontas de vídia (zircônio) ou diamante.

2. Manter o equipamento em funcionamento na posição ortogonal à superfície do concreto até que seja alcançada a profundidade desejada.

3. O controle da profundidade alcançada pode ser executado mediante a marcação prévia com tinta vermelha ou fita adesiva na broca em operação, ou ainda utilizando o controle da furadeira, se houver.

4. Após atingir a profundidade correta, retirar o excesso de pó com ar comprimido ou jato de água sob pressão.

A partir deste momento, o furo estará pronto para uso, devendo-se introduzir o expansor mecânico previsto ou introduzir a resina adequada para a ancoragem de barras de espera.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deferá ser determinado o número total de furos realizados de um mesmo diâmetro, e seu valor deverá ser expresso em un. (unidade).

O preço unitário determinado remunera toda a mão-de-obra, o desgaste das ferramentas e a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços de perfuração e limpeza dos orifícios.

10.10.11 Furo em concreto com ∅ =3/8" e profundidade 15 cm [un]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Ajudante	h	0,72	1,32	0,95
Leis Sociais	%	129		1,23
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 2,18
Ferramentas/Equipamentos:				
Furadeira elétrica mod. profissional	h	0,67	0,80	0,54
Compressor de ar portátil com filtro de óleo acoplado, para limpeza do furo	h	0,05	0,30	0,02
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,56
Material de Consumo:				
Broca com ponta de Wídea (zircônio) (□ = 3/8 x 250 mm)	pç.	0,06	6,00	0,36
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 0,36
Custo unitário			A + B + C	R$ 3,10
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por unidade				R$

Memorial Descritivo

Para executar furos em concreto com ∅ = 3/8" e profundidade 15 cm, adotar o seguinte procedimento:

1. Utilizar furadeira elétrica com percussão (impacto), de linha profissional, dotadas de brocas ∅ = 3/8" com pontas de vídia (zircônio) ou diamante.
2. Manter o equipamento em f uncionamento na posição ortogonal à superfície do concreto até que seja alcançada a profundidade desejada.
3. O controle da profundidade alcançada pode ser executado mediante a marcação prévia com tinta vermelha ou fita adesiva na broca em operação, ou ainda utilizando o controle da furadeira, se houver.
4. Após atingir a profundidade correta, retirar o excesso de pó com ar comprimido ou jato de água sob pressão.

A partir deste momento, o furo estará pronto para uso, devendo-se introduzir o expansor mecânico previsto ou introduzir a resina adequada para a ancoragem de barras de espera.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deferá ser determinado o número total de furos realizados de um mesmo diâmetro, e seu valor deverá ser expresso em un. (unidade).

O preço unitário determinado remunera toda a mão-de-obra, o desgaste das ferramentas e a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços de perfuração e limpeza dos orifícios.

10.10.12 Furo em concreto com ∅ =3/8" e profundidade 30 cm [un]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Ajudante	h	0,20	1.32	0,26
Leis Sociais	%	129		0,33
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 0,59
Ferramentas/Equipamentos:				
Equipamento de perfuração tipo Hilti (DD- 80)	h	0,15	4,00	0,60
Compressor de ar portátil com filtro de óleo acoplado, para limpeza do furo	h	0,05	0,30	0,02
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,62
Material de Consumo:				
Broca extratora com ponta de diamante (∅ = 3/8" x 40 cm)	pç.	0,02	252,00	5,04
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 5,04
Custo unitário			A + B + C	R$ 6,25
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por unidade				R$

Memorial Descritivo

Para executar furos em concreto com ∅ = 3/8" e profundidade 30 cm, adotar o seguinte procedimento:

1. Utilizar furadeira elétrica com percussão (martelo), de linha profissional, dotadas de brocas ∅ = 3/8" com pontas de vídia (zircônio) ou diamante.
2. Manter o equipamento em funcionamento na posição ortogonal à superfície do concreto até que seja alcançada a profundidade desejada.
3. O controle da profundidade alcançada pode ser executado mediante a marcação prévia com tinta vermelha ou fita adesiva na broca em operação, ou ainda utilizando o controle da furadeira, se houver.
4. Após atingir a profundidade correta, retirar o excesso de pó com ar comprimido ou jato de água sob pressão.

A partir deste momento, o furo estará pronto para uso, devendo-se introduzir o expansor mecânico previsto ou introduzir a resina adequada para a ancoragem de barras de espera.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deferá ser determinado o número total de furos realizados de um mesmo diâmetro, e seu valor deverá ser expresso em un. (unidade).

O preço unitário determinado remunera toda a mão-de-obra, o desgaste das ferramentas e a depreciação dos equipamentos necessários para a execução dos serviços de perfuração e limpeza dos orifícios.

10.11 ANCORAGENS

10.11.1 Fornecimento e instalação de ancoragem química ∅ 3/4" [un]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	0,20	1.61	0,32
Ajudante	h	0,20	1.32	0,26
Leis Sociais	%	129		0,75
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 1,33
Ferramentas/Equipamentos:				
Furadeira elétrica mod. profissional	h	0,20	0,80	0,16
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,16
Material de Consumo:				
Prisioneiro 220 mm	pç.	1,00	3,90	3,90
Expansão química Ø = 3/4"	pç.	1,00	9,57	9,57
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 13,47
Custo unitário			A + B + C	R$ 14,96
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por unidade				R$

Memorial Descritivo

Para utilizar expansões químicas de ∅ 3/4", adotar o seguinte procedimento:

1. Perfurar a estrutura de concreto, utilizando furadeira elétrica tipo martelete dotado de broca de ∅ = 25 mm com ponta de Wídia (zircônio).
2. Atingir a profundidade necessária para a perfuração (165 mm) e limpar a cavidade com ar comprimido, conforme indicado nos itens *10.10 Furos em concreto.*
3. Concluída a limpeza, injetar a ampola que contém a expansão química com o lado arredondado para dentro na perfuração previamente executada.
4. Após isto, retirar a broca utilizada na perfuração, acoplar o adapatador com encaixe ao mandril da furadeira, o qual permitirá o uso do parafuso prisioneiro como broca. Com a furadeira em operação, introduzir a ponta do prisioneiro no interior do furo, de modo a romper a ampola. Manter a rotação da furadeira até atingir a marca existente no prisioneiro.
5. Desligar a furadeira, desacoplando-a do prisioneiro utilizado como broca.
6. Dentro de alguns minutos os componentes existentes no interior da ampola e o silicato de cálcio (vidro moído da ampola) iniciarão uma reação que garantirá a aderência entre as peças em contato (aço e concreto).
7. Aguardar a cura da resina da expansão, aproximadamente de 30 a 40 min.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços de fornecimento e colocação de expansões químicas, é necessário contar apenas o número de peças instaladas, e o valor deverá ser expresso em unidade, ou seja, peças instaladas.

O preço unitário determinado remunera o fornecimento das expansões químicas, dos parafusos prisioneiros, da mão-de-obra, assim como das ferramentas e equipamentos necessários para a instalação. Os serviços de perfuração e limpeza deverão ser remunerados de acordo com os critérios e preços unitários mencionados no item *10.10 Furos em concreto.*

10.11.2 Fornecimento e instalação de ancoragem química ∅ 1/2" [un]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	0,15	1.61	0,24
Ajudante	h	0,15	1.32	0,20
Leis Sociais	%	129		0,57
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 1,01
Ferramentas/Equipamentos:				
Furadeira elétrica mod. profissional	h	0,15	0,80	0,12
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,12
Material de Consumo:				
Prisioneiro 160 mm	pç.	1,00	2,07	2,07
Expansão química Ø = 1/2"	pç.	1,00	4,58	4,58
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 6,65
Custo unitário			A + B + C	R$ 7,78
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por unidade				R$

Memorial Descritivo

Para utilizar expansões químicas de ∅ 1/2", adotar o seguinte procedimento:

1. Perfurar a estrutura de concreto, utilizando furadeira elétrica tipo martelete dotado de broca de ∅ = 14 mm com ponta de Wídia (zircônio).
2. Atingir a profundidade necessária para a perfuração (165 mm) e limpar a cavidade com ar comprimido, conforme indicado nos itens *10.10 Furos em concreto.*
3. Concluída a limpeza, injetar a ampola que contém a expansão química com o lado arredondado para dentro na perfuração previamente executada.
4. Após isto, retirar a broca utilizada na perfuração, acoplar o adapatador com encaixe ao mandril da furadeira, o qual permitirá o uso do parafuso prisioneiro como broca. Com a furadeira em operação, introduzir a ponta do prisioneiro no interior do furo, de modo a romper a ampola. Manter a rotação da furadeira até atingir a marca existente no prisioneiro.
5. Desligar a furadeira, desacoplando-a do prisioneiro utilizado como broca.
6. Dentro de alguns minutos os componentes existentes no interior da ampola e o silicato de cálcio (vidro moído da ampola) iniciarão uma reação que garantirá a aderência entre as peças em contato (aço e concreto).
7. Aguardar a cura da resina da expansão, aproximadamente de 30 a 40 min.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços de fornecimento e colocação de expansões químicas, é necessário contar apenas o número de peças instaladas, e o valor deverá ser expresso em unidade, ou seja, peças instaladas.

O preço unitário determinado remunera o fornecimento das expansões químicas, dos parafusos prisioneiros, da mão-de-obra, assim como das ferramentas e equipamentos necessários para a instalação. Os serviços de perfuração e limpeza deverão ser remunerados de acordo com os critérios e preços unitários mencionados no item *10.10 Furos em concreto.*

10.11.3 Fornecimento e instalação de ancoragem química ∅ 3/8" [un]

Memorial Descritivo

Para utilizar expansões químicas de ∅ 3/8", adotar o seguinte procedimento:

1. Perfurar a estrutura de concreto, utilizando furadeira elétrica tipo martelete dotado de broca de ∅ = 12 mm com ponta de vídia (zircônio).
2. Atingir a profundidade necessária para a perfuração (90 mm) e limpar a cavidade com ar comprimido, conforme indicado nos itens *10.10 Furos em concreto.*
3. Concluída a limpeza, injetar a ampola que contém a expansão química com o lado arredondado para dentro na perfuração previamente executada.
4. Após isto, retirar a broca utilizada na perfuração, acoplar o adapatador com encaixe ao mandril da furadeira, o qual permitirá o uso do parafuso prisioneiro como broca. Com a furadeira em operação, introduzir a ponta do prisioneiro no interior do furo, de modo a romper a ampola. Manter a rotação da furadeira até atingir a marca existente no prisioneiro.
5. Desligar a furadeira, desacoplando-a do prisioneiro utilizado como broca.

6. Dentro de alguns minutos os componentes existentes no interior da ampola e o silicato de cálcio (vidro moído da ampola) iniciarão uma reação que garantirá a aderência entre as peças em contato (aço e concreto).
7. Aguardar a cura da resina da expansão, aproximadamente de 30 a 40 min.

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	0,10	1.61	0,16
Ajudante	h	0,10	1.32	0,13
Leis Sociais	%	129		0,37
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 0,66
Ferramentas/Equipamentos:				
Furadeira elétrica mod. profissional	h	0,10	0,80	0,08
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,08
Material de Consumo:				
Prisioneiro 130 mm	pç.	1,00	1,50	1,50
Expansão química Ø = 3/8"	pç.	1,00	4,00	4,00
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 5,50
Custo unitário			A + B + C	R$ 6,24
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por unidade				R$

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços de fornecimento e colocação de expansões químicas, é necessário contar apenas o número de peças instaladas, e o valor deverá ser expresso em unidade, ou seja, peças instaladas.

O preço unitário determinado remunera o fornecimento das expansões químicas, dos parafusos prisioneiros, da mão-de-obra, assim como das ferramentas e equipamentos necessários para a instalação. Os serviços de perfuração e limpeza deverão ser remunerados de acordo com os critérios e preços unitários mencionados no item *10.10 Furos em concreto.*

10.11.4 Fornecimento e instalação de expansão mecânica Ø 3/4" [un]

Memorial Descritivo

Para instalar uma expansão mecânica tipo UR de diâmetro Ø = 3/4" adotar o seguinte procedimento:

1. Perfurar a estrutura de concreto com uma broca com o mesmo diâmetro externo da peça a ser instalada, sendo que a profundidade do furo não é um fator relevante neste processo.
2. Introduzir a expansão mecânica montada e ajustada, pronta para ser expandida, com ou sem prolongador.
3. Abrir a expansão unicamente com aperto (torque) do parafuso ou torca.
4. Retirar o parafuso utilizado para abrir a expansão. Posicionar a peça a ser fixada com parafuso ou porca, de acordo com a classe de fixação desejada.

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	0,20	1.61	0,32
Ajudante	h	0,20	1.32	0,26
Leis Sociais	%	129		0,75
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 1,33
Material de Consumo:				
Expansão mecânica tipo **UR** com Ø = 3/4"	pç.	1,00	4,20	4,20
Subtotal de Material de Consumo			B	R$ 4,20
Custo unitário			A + B	R 5,53
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por unidade				R$

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deverá ser determinado o número total de expansões instaladas de um mesmo diâmetro, e seu valor expresso em un. (unidades) instaladas.

O preço unitário determinado remunera o fornecimento da expansão e a mão-de-obra necessária para sua instalação.

A preparação da perforação será remunerada de acordo com os critérios e preços unitários constantes no item *10.10 Furos em concreto*.

Os parafusos e porcas utilizados para a fixação deverão ser remunerados em separado, conforme o tipo de parafuso usado para esta função.

10.11.5 Fornecimento e instalação de expansão mecânica Ø 1/2" [un]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	0,15	1.61	0,24
Ajudante	h	0,15	1.32	0,20
Leis Sociais	%	129		0,57
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 1,01
Material de Consumo:				
Expansão mecânica tipo **UR** com Ø = 1/2	pç.	1,00	1,31	1,31
Subtotal de Material de Consumo			B	R$ 1,31
Custo unitário			A + B	R$ 2,32
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por unidade				R$

Memorial Descritivo

Para instalar uma expansão mecânica tipo UR de diâmetro ∅ = 1/2" adotar o seguinte procedimento:

1. Perfurar a estrutura de concreto com uma broca com o mesmo diâmetro externo da peça a ser instalada, sendo que a profundidade do furo não é um fator relevante neste processo.
2. Introduzir a expansão mecânica montada e ajustada, pronta para ser expandida, com ou sem prolongador.
3. Abrir a expansão unicamente com aperto (torque) do parafuso ou torca.
4. Retirar o parafuso utilizado para abrir a expansão. Posicionar a peça a ser fixada com parafuso ou porca, de acordo com a classe de fixação desejada.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deverá ser determinado o número total de expansões instaladas de um mesmo diâmetro, e seu valor expresso em un. (unidades) instaladas.

O preço unitário determinado remunera o fornecimento da expansão e a mão-de-obra necessária para sua instalação.

A preparação da perforação será remunerada de acordo com os critérios e preços unitários constantes no item *10.10 Furos em concreto*.

Os parafusos e porcas utilizados para a fixação deverão ser remunerados em separado, conforme o tipo de parafuso usado para esta função.

10.11.6 Fornecimento e instalação de expansão mecânica ∅ 3/8" [un]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	0,10	1.61	0,16
Ajudante	h	0,10	1.32	0,13
Leis Sociais	%	129		0,37
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 0,66
Material de Consumo:				
Expansão tipo **UR** com Ø = 3/8"	pç.	1,00	0,86	0,86
Subtotal de Material de Consumo			B	R$ 0,86
Custo unitário			A + B	R$ 1,52
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por unidade				R$

Memorial Descritivo

Para instalar uma expansão mecânica tipo UR de diâmetro ∅ = 3/8" adotar o seguinte procedimento:

1. Perfurar a estrutura de concreto com uma broca com o mesmo diâmetro externo da peça a ser instalada, sendo que a profundidade do furo não é um fator relevante neste processo.

2. Introduzir a expansão mecânica montada e ajustada, pronta para ser expandida, com ou sem prolongador.
3. Abrir a expansão unicamente com aperto (torque) do parafuso ou torca.
4. Retirar o parafuso utilizado para abrir a expansão. Posicionar a peça a ser fixada com parafuso ou porca, de acordo com a classe de fixação desejada.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com este memorial descritivo, deverá ser determinado o número total de expansões instaladas de um mesmo diâmetro, e seu valor expresso em un. (unidades) instaladas.

O preço unitário determinado remunera o fornecimento da expansão e a mão-de-obra necessária para sua instalação.

A preparação da perforação será remunerada de acordo com os critérios e preços unitários constantes no item *10.10 Furos em concreto*.

Os parafusos e porcas utilizados para a fixação deverão ser remunerados em separado, conforme o tipo de parafuso usado para esta função.

10.11.7 Ancoragem de barras de aço com resina base poliéster [dm³]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	0,20	1,61	0,32
Ajudante	h	0,20	1,32	0,26
Leis Sociais	%	129		0,75
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 1,33
Ferramentas/Equipamentos:				
Misturador mecânico	h	0,10	1,00	0,10
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,10
Material de Consumo:				
Resina autoadensável ou tixotrópica, base poliéster	kg	1,80	6,02	10,84
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 10,84
Custo unitário			A + B + C	R$ 12,27
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por unidade				R$

Memorial Descritivo

Para ancorar barras de aço em estruturas de concreto utilizando adesivo base poliéster, adotar o seguinte procedimento:

1. Perfurar a estrutura de concreto com o auxílio de equipamento adequado, conforme especificado em um dos subitens de *10.10 Furos em concreto.*

2. Utilizar o diâmetro da broca para a perfuração da estrutura sempre 1/8" maior que o diâmetro da barra a ser ancorada.
3. A profundidade do furo deve ser definida no projeto estrutural em função da carga e das peças a serem ancoradas.
4. Preparar a resina para ancoragem utilizando produtos adequadamente formulados, à base de materiais de poliéster, adicionar seus componentes em balde plástico misturando-os até conseguir uma perfeita homogeneização, com o auxílio de um misturador mecânico.
5. Verter a resina devidamente homogeneizada para o interior da cavidade até derramar todo o material.
6. Introduzir a barra a ser ancorada no furo preenchido com a resina. Com uma espátula retirar o material que sobrar ao redor da barra.

Este procedimento é recomendado para a fixação de armadura de espera de pilares, vigas ou outros elementos estruturais desde que os furos não sejam verticais para cima.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços descritos neste memorial, deverá ser determinado o volume real do orifício aberto na estrutura de concreto, e seu valor será expresso em dm^3 (decímetro cúbico).

O preço unitário determinado remunera o fornecimento e a mão-de-obra para o preparo da resina a ser utilizada no preenchimento dos furos executados na estrutura de concreto.

O fornecimento, corte e colocação das barras a serem ancoradas deverão ser remunerados segundo critérios e preços unitários contratuais específicos para cada caso.

As atividades de perfuração são remuneradas em separado, de acordo com os critérios de medição especificados no subitem *10.10 Furos em concreto* deste memorial.

10.12 Pontes de Aderência

10.12.1 Ponte de aderência com adesivo base acrílica [m^2]

Memorial Descritivo

Para aplicar uma ponte de aderência com adesivo base acrílica, adotar o seguinte procedimento:

1. Preparo da resina: Compor uma pasta de cimento de acordo com a relação 3:1:1 (cimento:aditivo:água), em volume.
2. Após o preparo adequado do substrato por um dos métodos anteriormente apresentados, aplicar a resina sobre a área a ser recuperada usando uma broxa.

É recomendável iniciar a aplicação do adesivo somente depois de terem sido providenciados todos os produtos e atividades a serem utilizados posteriormente, já que o tempo de vida do adesivo pode ser relativamente curto, e caso isto não for considerado, o adesivo poderá até piorar as condições de aderência entre a camada original e a nova camada de reparo, pois criará uma camada de separação entre ambos (concreto são e reparo).

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	0,20	1,61	0,32
Ajudante	h	0,20	1,32	0,26
Leis Sociais	%	129		0,75
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 1,34
Ferramentas/Equipamentos:				
Broxa	pç.	0,0125	3,0	0,04
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,04
Material de Consumo:				
Adesivo base acrílica	L	0,36	6,25	2,25
Cimento Portland	kg	1,20	0,11	0,13
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 2,38
Custo unitário			A + B + C	R$ 3,75
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Critérios de Medição

Para quantificar os serviços executados de acordo com estas especificações, deverá ser determinada a área total na qual foi aplicado o adesivo para a formação da ponte de aderência, e seu valor expresso em m² (metro quadrado).

O preço unitário determinado remunera o fornecimento do adesivo, a mão-de-obra de aplicação e as ferramentas necessárias para a execução dos serviços relacionados nesta especificação.

10.12.2 Ponte de aderência com adesivo base epoxi [m²]

Memorial Descritivo

Para aplicar uma ponte de aderência com adesivo base epóxi, adotar o seguinte procedimento:

1. Após o preparo adequado do substrato, usando um dos métodos mencionados no item *10.1 Procedimentos para preparo do substrato* anteriormente apresentados, aplicar a resina sobre a área a ser recuperada usando uma espátula de 8", ou equivalente.
2. Preparo da resina: Misturar os dois componentes nas proporções indicadas pelo fabricante e homogeneizá-los com um misturador mecânico.
3. É recomendável iniciar a aplicação do adesivo soemnte após terem sido providenciados todos os produtos e atividades a serem utilizados posteriormente, já que o tempo de vida do adesivo pode ser relativamente curto, e caso isto não seja considerado, o adesivo poderá até piorar as condições de aderência entre a camada original e a nova camada de reparo, pois criará uma camada de separação entre ambos (concreto são e reparo ou reforço).

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pedreiro	h	1,00	1,61	1,61
Ajudante	h	1,00	1,32	1,32
Leis Sociais	%	129		3,78
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 6,71
Ferramentas/Equipamentos:				
Espátula de 8"	pç.	0,0125	1,40	0,02
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,02
Material de Consumo:				
Adesivo base epóxi	kg	0,70	14,08	9,86
Solvente para materiais base epóxi	L	0,12	5,12	0,61
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 10,47
Custo unitário			A + B + C	R$ 17,20
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m^2				R$

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com estas especificações, deverá ser determinada a área total na qual foi aplicado o adesivo para a formação da ponte de aderência, e seu valor expresso em m^2 (metro quadrado).

O preço unitário determinado remunera o fornecimento do adesivo, a mão-de-obra de aplicação e as ferramentas necessárias para a execução dos serviços relacionados nesta especificação.

10.13 Proteção Superficial do Concreto

10.13.1 Lixamento e polimento manual [m^2]

Memorial Descritivo

Para lixar e polir estruturas de concreto manualmente, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Esfregar um papel de lixa nº 40 a 60 com movimentos circulares enérgicos sobre a superfície a ser tratada.
2. A aplicação deste procedimento dispensa o emprego de mão - de - obra especializada e ele é indicado para tratamentos localizados em pequenas áreas devido a apresentar baixa produtividade e exigência de controle cuidadoso por parte da fiscalização.
3. Não se aplica quando o substrato de concreto é revestido com verniz base poliuretano alifático ou equivalente, pois o lixamento manual não retira o verniz já aplicado nem remove películas de pintura.
4. Concluído o lixamento grosso, aplicar a pasta de estucamento como indicado n item *10.15.3 Pasta de estucamento.*

Após decorrido um período de tempo de 36 horas da aplicação da pasta de estucamento, lixar a superfície novamente com lixa fina n° 120 ou 140, procedendo da forma indicada para o lixamento grosso.

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Ajudante	h	0,60	1,32	0,79
Leis Sociais	%	129		1,02
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 1,81
Material de Consumo:				
Papel de lixa (ferro) n° 40 a 60	folha	0,50	1,00	0,50
Papel de lixa (ferro) n° 100 a 140	folha	0,50	1,00	0,50
Subtotal de Material de consumo			B	R$ 1,00
Custo unitário			A + B	R$ 2,81
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima, deverá ser determinada a área real da superfície tratada tendo em conta todo tipo de irregularidades que a área em tratamento apresente e descontando-se os vãos e interferências quaisquer que sejam suas dimensões. O valor determinado deverá ser expresso em m² (metro quadrado). O preço unitário deste serviço remunera o fornecimento do material e a mão-de-obra para sua aplicação, além do desgaste das ferramentas necessárias para sua execução.

10.13.2 Lixamento e polimento com lixadeira elétrica [m²]

Memorial Descritivo

Para lixar e polir estruturas de concreto com lixadeira elétrica, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Utilizar inicialmente discos de lixa grossa n° 24 a 36, procurando manter a lixadeira paralela à superfície em tratamento, executando movimentos circulares e homogêneos.
2. Esfregar a lixadeira com movimentos circulares e enérgicos sobre a superfície a ser tratada, não concentrar esforços nas áreas que apresentan maior deterioração, pois este procedimento acabará marcando (queimando) a superfície do concreto da estrutura e danificando o aspecto visual da mesma.
3. Para a aplicação deste procedimento, é necessário o emprego de mão-de-obra especializada, sendo indicado para tratamentos em grandes áreas onde houver necessidade de remoção de impurezas e eflorescências existentes, ou a uniformização da superfície para posterior tratamento.
4. Devido à grande quantidade de detritos gerados com este procedimento, é imprescindível o uso de máscara antipó por parte do operador.
5. Concluído o lixamento grosso, aplicar a pasta de estuque, como indicado no item 10.13.3 Pasta de estucamento.

Após decorrido um período de tempo de 36 horas da aplicação da pasta de estucamento, lixar a superfície novamente com lixa fina n° 100 ou 120, procedendo da forma indicada para o lixamento grosso.

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Operador Lixador	h	0,60	1,61	0,97
Ajudante	h	0,20	1,32	0,26
Leis Sociais	%	129		1,59
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 2,82
Ferramentas/Equipamentos:				
Lixadeira industrial	h	0,600	0,50	0,30
Luvas de proteção	pç.	0,005	2,63	0,01
Óculos de proteção	pç.	0,002	3,20	0,01
Máscara antipó	pç.	0,005	3,00	0,02
Cabo trifásico 3x2,50 mm	m	0,001	8,20	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,35
Material de Consumo:				
Disco de lixa grosso (24 ou 36)	un.	0,25	1,80	0,45
Disco de lixa fino (100 ou 120)	un.	0,25	1,80	0,45
Disco de borracha	un.	0,05	4,20	0,21
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 1,11
Custo unitário			A + B + C	R$ 4,28
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima, deverá ser determinada a área real da superfície tratada tendo em conta todo tipo de irregularidades que a área em tratamento apresente e descontando-se os vãos e interferências quaisquer que sejam suas dimensões. O valor determinado deverá ser expresso em m² (metro quadrado). O preço unitário deste serviço remunera o fornecimento do material e a mão-de-obra para sua aplicação, além do desgaste das ferramentas necessárias para sua execução.

10.13.3 Pasta para estucamento [m²]

Memorial Descritivo

Para estucar uma superfície aplicando uma pasta base cimento modificada com polímeros, deverá ser adotado o seguinte procedimento:

1. **Preparo do substrato:** Deverá ocorrer conforme as especificações constantes no item *10.13 Proteção Superficial do Concreto*, utilizando-se disco de lixa n° 24 ou n° 36.
2. Após o preparo do substrato, aplicar a pasta de estucamento. O substrato que irá recibê-la deverá estar úmido com superfície seca.

3. **Preparo da pasta para estucamento:** Misturar 2 volumes de cimento Portland, 1 volume de cimento Branco e 1 volume de alvaiade ou areia fina e branca. A relação cimento Portland: cimento Branco poderá ser alterada para conseguir-se colorações mais claras ou mais escuras, dependendo do cimento utilizado no concreto da estrutura original.
4. Para conseguir a trabalhabilidade necessária da pasta, misturar todos os componentes adicionando lentamente uma solução de adesivo acrílico e água na proporção em volume de 1:3, até conseguir uma pasta homogênea que estará pronta para ser aplicada. Para evitar desperdícios, preparar somente quantidades de pasta que possam ser aplicadas no prazo máximo de duas a três horas (tempo de pega do cimento).
5. **Aplicação da pasta de estucamento:** O estuque, depois de preparado, deverá ser aplicado sobre a superfície com desempenadeira de aço, pressionando-se o mesmo fortemente, de modo a evitar a criação de uma camada de ar sobre o concreto, ou seja, a argamassa deverá ter uma consistência tal que permita preencher vazios, cavidades e fissuras ativas ou passivas.
6. **Acabamento:** Deverá ser dado com desempenadeira de aço ou de feltro (espuma), dependendo do acabamento que se queira conferir à superfície. Decorridas 36 horas, lixar novamente com disco de lixa n° 100 a 120.
7. **Cura:** É necessário manter a superfície úmida pelo menos durante três dias.

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Estucador	h	0,20	1,61	0,32
Ajudante	h	0,20	1,32	0,26
Leis Sociais	%	129		0,75
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 1,33
Ferramentas/Equipamentos:				
Plaina de pedreiro	pç.	0,005	4,90	0,02
Desempenadeira de aço	pç.	0,005	2,80	0,01
Espátula de 8"	pç.	0,005	1,40	0,01
Broxa	pç.	0,002	3,00	0,01
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,05
Material de Consumo:				
Cimento Portland	kg	0,60	0,10	0,07
Cimento Blanco	kg	0,30	0,57	0,17
Alvaiade	kg	0,30	0,30	0,09
Adesivo base acrílica	L	0,15	6,25	0,94
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 1,27
Custo unitário			A + B + C	R$ 2,65
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m^2				R$

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima, deverá ser determinada a área real da superfície tratada tendo em conta todo tipo de irregularidades que a área em tratamento apresente e descontando-se os vãos e interferências quaisquer que sejam suas dimensões. O valor determinado deverá ser expresso em m^2 (metro quadrado).

O preço unitário deste serviço remunera o fornecimento do material e a mão-de-obra para sua aplicação, além do desgaste das ferramentas necessárias para sua execução.

10.13.4 Pintura hidrofugante silicone base água (siliconatos) [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pintor	h	0,20	1,61	0,32
Ajudante de pintor	h	0,10	1,32	0,13
Leis Sociais	%	129		0,58
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 1,03
Ferramentas/Equipamentos:				
Broxa				
Pincel de 2"	pç.	0,0125	3,00	0,04
Vassoura de pelo	pç.	0,0125	2,25	0,03
	pç.	0,0125	3,60	0,05
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,12
Material de Consumo:				
Silicone base água (siliconato)	L	0,50	4,55	2,27
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 2,27
Custo unitário			A + B + C	R$ 3,42
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para a aplicação de um sistema de pintura hidrofugante com silicone base água, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. **Garantir a uniformidade do substrato** removendo todas as protuberâncias com altura superior a 1,5 mm e nivelando os orifícios com diâmetro superior a 3 mm. Para isto, utilizar um dos métodos indicados no item *10.1 Procedimentos para preparo do substrato*, desta metodologia.
2. Não existe regra definida para a seleção do método a utilizar, sendo que a decisão de qual método adotar deverá ser tomada em função das condições particulares que cada substrato apresente no momento da intervenção. O controle e liberação deste serviço por parte da fiscalização da obra deverá ser realizado mediante uma inspeção visual.
3. **Garantir a limpeza do substrato** eliminando todo e qualquer material estranho, como pó e substâncias oleosas, e para tal utilizar um dos métodos indicados no item *10.02 Procedimentos para a limpeza do substrato*, desta metodologia.
4. Também neste caso não existe regra preestabelecida de qual é o melhor método a ser adotado, devendo ser adotado aquele que for mais apropriado para a remoção das impurezas existentes no substrato a ser tratado. O controle de aceitação dos serviços pela fiscalização poderá ser feito com os ensaios simples indicados a seguir:
   - *i. Ensaio para detectar detritos:* passar um pano escuro sobre o substrato; se forem detectadas partículasde pó branco ou cinza, é indicação de que a superfície ainda não apresenta condições adequadas para o uso, devendo-se então prosseguir com a aplicação do método adotado para a limpeza do substrato.

ii. *Ensaio para detectar graxas e substâncias oleosas*, aspergir água com o auxílio de um pulverizador sobre a superfície. Caso permaneçam gotas d'água não absorvidas pelo substrato em determinadas áreas, isto é indicativo da presença de graxa ou substâncias oleosas, as quais impedirão uma adequada penetração/ adesão do revestimento a ser aplicado.

5. **Garantir o teor de umidade do substrato**, de modo a atender o máximo recomendado pelo fabricante do revestimento. Para determinar estes números, utilizar detectores de umidade digitais, que são pequenos aparatos com dimensões máximas em torno de 10 cm. Caso sejam constatados valores superiores ao máximo recomendado pelo fabricante, aguardar que a evaporação ocorra naturalmente, ou provocar a evaporação mediante o aquecimento da superfície com o uso de lâmpadas incandescentes.
6. **Como aplicar o produto em duas demãos defasadas de 48 h**: Normalmente o produto vem pronto para uso, não existendo necessidade de ser diluído. Deve ser aplicado com broxa, pincel ou pulverizador. Os cantos menores e de difícil acesso devem ser detalhados com pincel, e recomenda-se aplicá-lo em uma única demão bem abundante.

Finalidade: é indicada para aplicação em alvenarias e concreto aparente, sendo necessária uma reaplicação a cada 6 (seis) meses.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima, deverá ser determinada a área real da superfície tratada tendo em conta todo tipo de irregularidades que a área em tratamento apresente e descontando-se os vãos e interferências, quaisquer que sejam suas dimensões. O valor determinado deverá ser expresso em m^2 (metro quadrado).

O preço unitário determinado remunera o fornecimento do material e a mão-de-obra para sua aplicação, além do desgaste das ferramentas necessárias para a execução dos serviços.

10.13.5 Pintura hidrofugante silicone, silano ou siloxano oligomérico, base solvente [m^2]

Memorial Descritivo

Para a aplicação de um sistema de pintura hidrofugante com silicone, silano ou siloxano oligomérico base solvente, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. **Garantir a uniformidade do substrato** removendo todas as protuberâncias com altura superior a 1,5 mm e nivelando os orifícios com diâmetro superior a 3 mm. Para isto, utilizar um dos métodos indicados no item *10.1 Procedimentos para preparo do substrato*, desta metodologia.
2. Não existe regra definida para a seleção do método a utilizar, sendo que a decisão de qual método adotar deverá ser tomada em função das condições particulares que cada substrato apresente no momento da intervenção. O controle e liberação deste serviço por parte da fiscalização da obra deverá ser realizado mediante uma inspeção visual.
3. **Garantir a limpeza do substrato** eliminando todo e qualquer material estranho, como pó e substâncias oleosas, e para tal utilizar um dos métodos indicados no item *10.02 Procedimentos para a limpeza do substrato*, desta metodologia.

4. Também neste caso não existe regra preestabelecida de qual é o melhor método a ser adotado, devendo ser adotado aquele que for mais apropriado para a remoção das impurezas existentes no substrato a ser tratado. O controle de aceitação dos serviços pela fiscalização poderá ser feito com os ensaios simples indicados a seguir:
   i. *Ensaio para detectar detritos:* passar um pano escuro sobre o substrato; se forem detectadas partículas de pó branco ou cinza, é indicação de que a superfície ainda não apresenta condições adequadas para o uso, devendo-se então prosseguir com a aplicação do método adotado para a limpeza do substrato.
   ii. *Ensaio para detectar graxas e substâncias oleosas*, aspergir água com o auxílio de um pulverizador sobre a superfície. Caso permaneçam gotas d'água não absorvidas pelo substrato em determinadas áreas, isto é indicativo da presença de graxa ou substâncias oleosas, as quais impedirão uma adequada penetração/ adesão do revestimento a ser aplicado.
5. **Garantir o teor de umidade do substrato**, de modo a atender o máximo recomendado pelo fabricante do revestimento. Para determinar estes números, utilizar detectores de umidade digitais, que são pequenos aparatos com dimensões máximas em torno de 10 cm. Caso sejam constatados valores superiores ao máximo recomendado pelo fabricante, aguardar que a evaporação ocorra naturalmente, ou provocar a evaporação mediante o aquecimento da superfície com o uso de lâmpadas incandescentes.
6. **Como aplicar o produto em duas demãos defasadas de 48 h**: Normalmente o produto vem pronto para uso, não existindo necessidade de ser diluído. Deve ser aplicado com broxa, pincel ou pulverizador. Os cantos menores e de difícil acesso devem ser detalhados com pincel.

Finalidade: é indicada para aplicação em alvenarias e concreto aparente, sendo necessária uma reaplicação a cada 4 (quatro) anos.

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pintor	h	0,36	1,61	0,58
Ajudante de pintor	h	0,18	1,32	0,24
Leis Sociais	%	129		1,06
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 1,88
Ferramentas/Equipamentos:				
Broxa	pç.	0,0125	3,00	0,04
Pincel de 2"	pç.	0,0125	2,25	0,03
Vassoura de pelo	pç.	0,0125	3,60	0,05
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,12
Material de Consumo:				
Silicone, silano ou siloxano oligomérico, base solvente	L	0,60	4,80	2,88
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 2,88
Custo unitário			A + B + C	R$ 4,88
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m^2				R$

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima, deverá ser determinada a área real da superfície tratada tendo em conta todo tipo de irregularidades que a área em tratamento apresente e descontando-se os vãos e interferências, quaisquer que sejam suas dimensões. O valor determinado deverá ser expresso em m² (metro quadrado).

O preço unitário determinado remunera o fornecimento do material e a mão-de-obra para sua aplicação, além do desgaste das ferramentas necessárias para a execução dos serviços.

10.13.6 Pintura impermeabilizante epóxi bicomponente, base solvente [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pintor	h	0,44	1,61	0,71
Ajudante de pintor	h	0,22	1,32	0,29
Leis Sociais	%	129		1,29
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 2,29
Ferramentas/Equipamentos:				
Rolo de lã de carneiro	pç.	0,0125	3,80	0,05
Pincel 2"	pç.	0,0125	2,25	0,03
Vassoura de pelo	pç.	0,0125	3,60	0,05
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,13
Material de Consumo:				
Epóxi bicomponente base solvente	kg	0,34	16,50	5,61
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 5,61
Custo unitário			A + B + C	R$ 8,03
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para aplicação de um sistema de pintura impermeabilizante base epóxi bicomponente base solvente, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. Garantir a integridade e resistência do substrato para suportar essa pintura rígida.
2. Garantir a uniformidade do substrato removendo todas as protuberâncias com altura superior a 1,5 mm, e nivelando os orifícios com diâmetro superior a 3 mm; para tal, utilizar um dos métodos indicados no item *10.1 Procedimentos para preparo do substrato*, desta metodologia.
3. Não existe regra definida para a seleção do método a utilizar, a decisão de qual método adotar deverá ser tomada em função das condições particulares que cada substrato apresente no momento da intervenção. O controle e a liberação destes serviços por parte da fiscalização deverá ser realizado por inspeção visual.
4. Garantir a limpeza do substrato eliminando todo e cualquer material estranho, como pó e substâncias oleosas; para tal, utilizar um dos métodos indicados no item *10.2 Procedimentos para limpeza do substrato,* desta metodologia.

5. Também neste caso não existe regra preestabelecida de qual é o melhor método a ser adotado, devendo ser adotado aquele que for mais apropriado para a remoção das impurezas existentes no substrato a ser tratado. O controle de aceitação dos serviços pela fiscalização poderá ser feito com os ensaios simples indicados a seguir:
   i. *Ensaio para detectar detritos:* passar um pano escuro sobre o substrato; se forem detectadas partículas de pó branco ou cinza, é indicação de que a superfície ainda não apresenta condições adequadas para o uso, devendo-se então prosseguir com a aplicação do método adotado para a limpeza do substrato.
   ii. *Ensaio para detectar graxas e substâncias oleosas*, aspergir água com o auxílio de um pulverizador sobre a superfície. Caso permaneçam gotas d'água não absorvidas pelo substrato em determinadas áreas, isto é indicativo da presença de graxa ou substâncias oleosas, as quais impedirão uma adequada penetração/ adesão do revestimento a ser aplicado.
6. **Garantir o teor de umidade do substrato**, de modo a atender o máximo recomendado pelo fabricante do revestimento. Para determinar estes números, utilizar detectores de umidade digitais, que são pequenos aparatos com dimensões máximas em torno de 10 cm. Caso sejam constatados valores superiores ao máximo recomendado pelo fabricante, aguardar que a evaporação ocorra naturalmente, ou provocar a evaporação mediante o aquecimento da superfície com o uso de lâmpadas incandescentes.
7. Como aplicar o produto: Depois da cura e polimento do revestimento, com a superfície limpa e seca, adicionar o componente A ao componente B e misturar até obter total homogeneização. Aguardar 5 minutos e aplicar o produto com rolo de lã de carneiro, ou outro dispositivo apropriado.
8. O intervalo entre as três demãos (fundo mais duas de acabamento) deverá ser de pelo menos 24 horas e não mais de 72 h.

Finalidade: Para o selamento de pisos e áreas internas, indústrias de papel, celulose, fertilizantes e principalmente para indústrias alimentícias pois não exala odores e não contamina alimentos. Considerar que o epóxi não resiste bem à ação do intemperismo (ultravioleta) e portanto deve ser aplicado em locais abrigados (interiores).

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima, deverá ser determinada a área real da superfície tratada tendo em conta todo tipo de irregularidades que a área em tratamento apresente e descontando-se os vãos e interferências, quaisquer que sejam suas dimensões. O valor determinado deverá ser expresso em m^2 (metro quadrado).

O preço unitário determinado remunera o fornecimento do material e a mão-de-obra para sua aplicação, além do desgaste das ferramentas necessárias para a execução dos serviços.

10.13.7 Pintura impermeabilizante poliuretano alifático bicomponente, base solvente [m^2]

Memorial Descritivo

Para aplicação de um sistema de pintura impermeabilizante base poliuretano alifático bicomponente, base solvente, em três demãos (fundo mais duas de acabamento), é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. **Garantir a uniformidade do substrato** removendo todas as protuberâncias com altura superior a 1,5 mm e nivelando os orifícios com diâmetro superior a 3 mm. Para isto, utilizar um dos métodos indicados no item *10.1 Procedimentos para preparo do substrato*, desta metodologia.
2. Não existe regra definida para a seleção do método a utilizar, sendo que a decisão de qual método adotar deverá ser tomada em função das condições particulares que cada substrato apresente no momento da intervenção. O controle e liberação deste serviço por parte da fiscalização da obra deverá ser realizado mediante uma inspeção visual.

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pintor	h	0,66	1,61	1,06
Ajudante de pintor	h	0,22	1,32	0,29
Leis Sociais	%	129		1,74
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 3,09
Ferramentas/Equipamentos:				
Rolo especial para epóxi	pç.	0,0125	3,80	0,05
Pincel de 2"	pç.	0,0125	2,25	0,03
Vassoura de pêlo	pç.	0,0125	3,60	0,05
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,13
Material de Consumo:				
Verniz poliuretano alifático bicomponente	kg	0,36	35,20	12,67
Solvente para verniz poliuretano	kg	0,04	16,54	0,66
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 13,33
Custo unitário			A + B + C	R$ 16,55
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m^2				R$

3. **Garantir a limpeza do substrato** eliminando todo e qualquer material estranho, como pó e substâncias oleosas, e para tal utilizar um dos métodos indicados no item *10.02 Procedimentos para a limpeza do substrato*, desta metodologia.
4. Também neste caso não existe regra preestabelecida de qual é o melhor método a ser adotado, devendo ser adotado aquele que for mais apropriado para a remoção das impurezas existentes no substrato a ser tratado. O controle de aceitação dos serviços pela fiscalização poderá ser feito com os ensaios simples indicados a seguir:
   i. Ensaio para detectar detritos: passar um pano escuro sobre o substrato; se forem detectadas partículas de pó branco ou cinza, é indicação de que a superfície ainda não apresenta condições adequadas para o uso, devendo-se então prosseguir com a aplicação do método adotado para a limpeza do substrato.
   ii. Ensaio para detectar graxas e substâncias oleosas, aspergir água com o auxílio de um pulverizador sobre a superfície. Caso permaneçam gotas d'água não absorvidas pelo substrato em determinadas áreas, isto é indicativo da presença de graxa ou substâncias oleosas, as quais impedirão uma adequada penetração/adesão do revestimento a ser aplicado.
5. **Garantir o teor de umidade do substrato**, de modo a atender o máximo recomendado pelo fabricante do revestimento. Para determinar estes números, utilizar detectores de umidade digitais, que são pequenos aparatos com dimensões máximas em torno de 10 cm. Caso sejam constatados valores superiores ao máximo recomendado pelo fabricante, aguardar que a evaporação ocorra naturalmente, ou provocar a evaporação mediante o aquecimento da superfície com o uso de lâmpadas incandescentes.

6. **Como aplicar o produto em três demãos defasadas de 24 h e menos de 72 h**: Depois da cura e polimento do estuque, com a superfície limpa e seca, adicionar os dois componentes e misturá-los até obter total homogeneidade; aguardar 15 minutos, adicionar o solvente na proporção indicada abaixo e aplicar com rolo de lã de carneiro especial (pêlo curto) ou outro .**Finalidade:** é indicada para aplicação em áreas externas e ambientes internos de indústrias ou edificações localizadas em meios agressivos. Trata-se de uma pintura anticarbonatação, anticloretos e de elevada resistência a ataques químicos.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima, deverá ser determinada a área real da superfície tratada tendo em conta todo tipo de irregularidades que a área em tratamento apresente e descontando-se os vãos e interferências, quaisquer que sejam suas dimensões. O valor determinado deverá ser expresso em m² (metro quadrado).

O preço unitário determinado remunera o fornecimento do material e a mão-de-obra para sua aplicação, além do desgaste das ferramentas necessárias para a execução dos serviços.

10.13.8 Pintura impermeabilizante verniz acrílico, base solvente [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pintor	h	0,54	1,61	0,87
Ajudante de pintor	h	0,27	1,32	0,36
Leis Sociais	%	129		1,59
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 2,82
Ferramentas/Equipamentos:				
Rolo de lã	pç.	0,0125	3,80	0,05
Pincel de 2"	pç.	0,0125	2,25	0,03
Vassoura de pêlo	pç.	0,0125	3,60	0,05
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,13
Material de Consumo:				
Primer base água	L	0,20	3,74	0,75
Verniz acrílico base solvente	L	0,35	6,04	2,10
Solvente	L	0,03	1,80	0,05
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 2,91
Custo unitário			A + B + C	R$ 5,86
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para aplicação de um sistema de pintura impermeabilizante de verniz acrílico base solvente, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. **Garantir a uniformidade do substrato** removendo todas as protuberâncias com altura superior a 1,5 mm e nivelando os orifícios com diâmetro superior a 3 mm. Para isto, utilizar um dos métodos indicados no item *10.1 Procedimentos para preparo do substrato*, desta metodologia.

2. Não existe regra definida para a seleção do método a utilizar, sendo que a decisão de qual método adotar deverá ser tomada em função das condições particulares que cada substrato apresente no momento da intervenção. O controle e liberação deste serviço por parte da fiscalização da obra deverá ser realizado mediante uma inspeção visual.
3. **Garantir a limpeza do substrato** eliminando todo e qualquer material estranho, como pó e substâncias oleosas, e para tal utilizar um dos métodos indicados no item *10.02 Procedimentos para a limpeza do substrato*, desta metodologia.
4. Também neste caso não existe regra preestabelecida de qual é o melhor método a ser adotado, devendo ser adotado aquele que for mais apropriado para a remoção das impurezas existentes no substrato a ser tratado. O controle de aceitação dos serviços pela fiscalização poderá ser feito com os ensaios simples indicados a seguir:
   i. *Ensaio para detectar detritos:* passar um pano escuro sobre o substrato; se forem detectadas partículas de pó branco ou cinza, é indicação de que a superfície ainda não apresenta condições adequadas para o uso, devendo-se então prosseguir com a aplicação do método adotado para a limpeza do substrato.
   ii. *Ensaio para detectar graxas e substâncias oleosas*, aspergir água com o auxílio de um pulverizador sobre a superfície. Caso permaneçam gotas d'água não absorvidas pelo substrato em determinadas áreas, isto é indicativo da presença de graxa ou substâncias oleosas, as quais impedirão uma adequada penetração/adesão do revestimento a ser aplicado.
5. **Garantir o teor de umidade do substrato**, de modo a atender o máximo recomendado pelo fabricante do revestimento. Para determinar estes números, utilizar detectores de umidade digitais, que são pequenos aparatos com dimensões máximas em torno de 10 cm. Caso sejam constatados valores superiores ao máximo recomendado pelo fabricante, aguardar que a evaporação ocorra naturalmente, ou provocar a evaporação mediante o aquecimento da superfície com o uso de lâmpadas incandescentes.
6. **Como aplicar o produto:** Depois da cura e polimento do estuque, com a superfície limpa e seca, aplicar uma demão de *primer* uniformemente utilizando rolo de lã, pincel ou pistola *airless*. Depois da aplicação do *primer* e quando o mesmo estiver totalmente seco, aplicar duas demãos de verniz. O intervalo entre demãos deverá ser de 6 a 24 horas. Tanto o *primer* quanto o verniz de acabamento não deverão ser diluídos.

Finalidade: é indicada para aplicação em áreas externas por apresentar boa estabilidade de cor e resistência à fotodegradação,e ser uma pintura anticarbonatação e anticloretos. Evitar os vernizes de acrílico estirenado, pois ficam amarelados em pouco tempo.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima, deverá ser determinada a área real da superfície tratada tendo em conta todo tipo de irregularidades que a área em tratamento apresente e descontando-se os vãos e interferências, quaisquer que sejam suas dimensões. O valor determinado deverá ser expresso em m² (metro quadrado).

O preço unitário determinado remunera o fornecimento do material e a mão-de-obra para sua aplicação, além do desgaste das ferramentas necessárias para a execução dos serviços.

10.13.9 Pintura impermeabilizante sistema duplo Epóxi-Poliuretano, base solvente [m²]

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pintor	h	0,90	1,61	1,45
Ajudante de pintor	h	0,30	1,32	0,40
Leis Sociais	%	129		2,39
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 4.24
Ferramentas/Equipamentos:				
Rolo de lã especial para epóxi	pç.	0,0125	3,80	0,05
Pincel de 2"	pç.	0,0125	2,25	0,03
Vassoura de pelo	pç.	0,0125	3,60	0,05
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,13
Material de Consumo:				
Verniz epóxi bicomponente	kg	0,25	14,93	3.73
Verniz poliuretano bicomponente	kg	0,18	35,20	6,34
Solvente para verniz epóxi e poliuretano	L	0,03	5,12	0,15
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 10,22
Custo unitário			A + B + C	R$ 14,59
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m²				R$

Memorial Descritivo

Para aplicação de pintura impermeabilizante sistema duplo epóxi-poliuretano, base solvente, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. **Garantir a integridade e resistência do substrato.**
2. **Garantir a uniformidade do substrato** removendo todas as protuberâncias com altura superior a 1,5 mm e nivelando os orifícios com diâmetro superior a 3 mm. Para isto, utilizar um dos métodos indicados no item *10.1 Procedimentos para preparo do substrato*, desta metodologia.
3. Não existe regra definida para a seleção do método a utilizar, sendo que a decisão de qual método adotar deverá ser tomada em função das condições particulares que cada substrato apresente no momento da intervenção. O controle e liberação deste serviço por parte da fiscalização da obra deverá ser realizado mediante uma inspeção visual.
4. **Garantir a limpeza do substrato** eliminando todo e qualquer material estranho, como pó e substâncias oleosas, e para tal utilizar um dos métodos indicados no item *10.02 Procedimentos para a limpeza do substrato*, desta metodologia.
5. Também neste caso não existe regra preestabelecida de qual é o melhor método a ser adotado, devendo ser adotado aquele que for mais apropriado para a remoção das impurezas existentes no substrato a ser tratado. O controle de aceitação dos serviços pela fiscalização poderá ser feito com os ensaios simples indicados a seguir:
   i. Ensaio para detectar detritos: passar um pano escuro sobre o substrato; se forem detectadas partículas de pó branco ou cinza, é indicação de que a superfície ainda não apresenta condições adequadas para o uso, devendo-se então prosseguir com a aplicação do método adotado para a limpeza do substrato.

ii. *Ensaio para detectar graxas e substâncias oleosas*, aspergir água com o auxílio de um pulverizador sobre a superfície. Caso permaneçam gotas d'água não absorvidas pelo substrato em determinadas áreas, isto é indicativo da presença de graxa ou substâncias oleosas, as quais impedirão uma adequada penetração/adesão do revestimento a ser aplicado.

6. **Garantir o teor de umidade do substrato**, de modo a atender o máximo recomendado pelo fabricante do revestimento. Para determinar estes números, utilizar detectores de umidade digitais, que são pequenos aparatos com dimensões máximas em torno de 10 cm. Caso sejam constatados valores superiores ao máximo recomendado pelo fabricante, aguardar que a evaporação ocorra naturalmente, ou provocar a evaporação mediante o aquecimento da superfície com o uso de lâmpadas incandescentes.
7. **Como aplicar o produto:** Depois da cura e polimento do estuque, com a superfície limpa e seca, aplicar uma demão de *primer* com a, esfregando este fortemente contra o substrato, cobrindo toda a área uniformemente e evitando a criação de poças em pontos localizados.
8. Com o *primer* totalmente seco, aplicar uma demão de verniz epóxi e outra de acabamento com pincel ou rolo de lã especial (pêlo curto). O intervalo entre demãos deverá ser de 6 a 24 horas, e o material deverá ser preparado conforme a diluição recomendada a seguir:

1ª demão: Verniz Epóxi bicomponente	2ª demão: Verniz Epóxi bicomponente	3ª demão: Verniz Poliuretano alifático bicomponente
diluir no próprio solvente na proporção de 30 %	não diluir	não diluir

Finalidade: é indicada para aplicação em áreas externas por apresentar elevado desempenho anticarbonatação e anticloretos e por sua alta resistência a meios quimicamente agressivos.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima, deverá ser determinada a área real da superfície tratada tendo em conta todo tipo de irregularidades que a área em tratamento apresente e descontando-se os vãos e interferências, quaisquer que sejam suas dimensões. O valor determinado deverá ser expresso em m^2 (metro quadrado).

O preço unitário determinado remunera o fornecimento do material e a mão-de-obra para sua aplicação, além do desgaste das ferramentas necessárias para a execução dos serviços.

10.13.10 Pintura impermeabilizante sistema duplo silano-siloxano /acrílico [m^2]

Memorial Descritivo

Para aplicação de um sistema de pintura impermeabilizante com sistema duplo base de Silano-Siloxano e acrílico, base solvente, é necessário adotar o seguinte procedimento:

1. **Garantir a uniformidade do substrato** removendo todas as protuberâncias com altura superior a 1,5 mm e nivelando os orifícios com diâmetro superior a 3 mm. Para isto, utilizar um dos métodos indicados no item *10.1 Procedimentos para preparo do substrato*, desta metodologia.
2. Não existe regra definida para a seleção do método a utilizar, sendo que a decisão de qual método adotar deverá ser tomada em função das condições particulares que cada substrato apresente no momento da intervenção. O controle e liberação deste serviço por parte da fiscalização da obra deverá ser realizado mediante uma inspeção visual.
3. **Garantir a limpeza do substrato** eliminando todo e qualquer material estranho, como pó e substâncias oleosas, e para tal utilizar um dos métodos indicados no item *10.02 Procedimentos para a limpeza do substrato*, desta metodologia.

Descrição do insumo	un.	coef.	Custo unitário	Custo parcial
Mão-de-obra:				
Pintor	h	0,54	1,61	0,87
Ajudante de pintor	h	0,27	1,32	0,36
Leis Sociais	%	129		1,59
Subtotal de Mão-de-obra e Leis Sociais			A	R$ 2,82
Ferramentas/Equipamentos:				
Sistema *Airless*	h	0,100	1,50	0,15
Rolo de lã de carneiro	pç.	0,0125	3,80	0,05
Pincel de 2"	pç.	0,0125	2,25	0,03
Vassoura de pêlo	pç.	0,0125	3,60	0,05
Subtotal de Ferramentas/Equipamentos			B	R$ 0,28
Material de Consumo:				
Primer Silano-Siloxano	L	0,30	12,53	3,76
Verniz Acrílico	L	0,36	9,73	3,50
Subtotal de Material de Consumo			C	R$ 7,26
Custo unitário			A + B + C	R$ 10,36
Benefício e Despesas Indiretas, B.D.I.			%	R$
Valor unitário do serviço por m^2				R$

1. Também neste caso não existe regra preestabelecida de qual é o melhor método a ser adotado, devendo ser adotado aquele que for mais apropriado para a remoção das impurezas existentes no substrato a ser tratado. O controle de aceitação dos serviços pela fiscalização poderá ser feito com os ensaios simples indicados a seguir:
   i. *Ensaio para detectar detritos:* passar um pano escuro sobre o substrato; se forem detectadas partículas de pó branco ou cinza, é indicação de que a superfície ainda não apresenta condições adequadas para o uso, devendo-se então prosseguir com a aplicação do método adotado para a limpeza do substrato.
   ii. *Ensaio para detectar graxas e substâncias oleosas*, aspergir água com o auxílio de um pulverizador sobre a s uperfície. Caso permaneçam gotas d'água não absorvidas pelo substrato em determinadas áreas, isto é indicativo da presença de graxa ou substâncias oleosas, as quais impedirão uma adequada penetração/ adesão do revestimento a ser aplicado.

2. **Garantir o teor de umidade do substrato**, de modo a atender o máximo recomendado pelo fabricante do revestimento. Para determinar estes números, utilizar detectores de umidade digitais, que são pequenos aparatos com dimensões máximas em torno de 10 cm. Caso sejam constatados valores superiores ao máximo recomendado pelo fabricante, aguardar que a evaporação ocorra naturalmente, ou provocar a evaporação mediante o aquecimento da superfície com o uso de lâmpadas incandescentes.
3. **Como aplicar o produto:** Após a cura e polimento do estuque, com a superfície limpa e seca, aplicar o *primer* silano-siloxano usando pistola airless ou pulverizador. Aguardar aproximadamente duas horas para a aplicação de duas camadas de acabamento.
4. Esta camada deverá ser aplicada usando pistola de pintura ou rolo de lã de carneiro, de forma a proporcionar uma camada uniforme para evitar o acúmulo de material, assim como a retenção do solvente em pontos localizados.

Finalidade: é indicada para aplicação em alvenarias e concreto aparente, em superfícies internas e externas. Trata-se de um sistema anticarbonatação e anticloretos de elevada resistência aos ataques químicos do meio-ambiente.

Critérios Técnicos

Para quantificar os serviços executados de acordo com o memorial descritivo acima, deverá ser determinada a área real da superfície tratada tendo em conta todo tipo de irregularidades que a área em tratamento apresente e descontando-se os vãos e interferências, quaisquer que sejam suas dimensões. O valor determinado deverá ser expresso em m^2 (metro quadrado).

O preço unitário determinado remunera o fornecimento do material e a mão-de-obra para sua aplicação, além do desgaste das ferramentas necessárias para a execução dos serviços.

CAPÍTULO 11

Controle de Qualidade e Critérios de Recepção

CAPÍTULO 11

Controle de Qualidade e Critérios de Recepção

Autores
Pedro Castro

Andrés Torres
Eric Moreno
Mariana Laranderos
Mariana Laranderos
Mercedes Balacán
Miguel A. Quintal Uicab

Introdução

Neste capítulo são descritas as ações necessárias para avaliar a qualidade do projeto de recuperação ou intervenção, do ponto de vista da:

- concepção
- apresentação da documentação

Qualidade do projeto (concepção da intervenção)

Para avaliar a concepção da intervenção, deve-se levar em conta uma série de fatores totalmente relacionados com o projeto e sua utilidade verificada na prática.

Justificativa teórica

Qualquer projeto de recuperação de qualquer tipo de estrutura deve estar fundamentado em conhecimentos sólidos para que o objetivo da recuperação seja cumprido a longo prazo ou em conformidade com a especificação técnica do projeto.

Qualquer projeto de recuperação de qualquer tipo de estrutura deve estar fundamentado em conhecimentos sólidos para que o objetivo da recuperação seja cumprido a longo prazo ou em conformidade com a especificação técnica do projeto. diagnóstico que tiveram que ser realizados previamente à concepção da intervenção.

Para justificar teoricamente o projeto, o engenheiro deve considerar todos os fatores que causaram os danos à estrutura, e com base nesse conhecimento conceber uma solução que oponha ou evite na totalidade o dano, a longo prazo ou pelo tempo de vida útil que se atribuiu ao reparo.

A seguir, apresenta-se um exemplo de uma boa e uma má concepção de intervenção na estrutura:

Vamos supor que será feito o reparo de uma série de silos localizados em ambiente urbano, como mostrado na Figura 11.1. As evidências apontam para um dano visível na parte média dos silos, que se manifesta na forma de desprendimentos (lascamento) do concreto e exposição da armadura, a qual no momento da primeira inspeção já mostra sinais de corrosão.

Para oferecer um projeto de recuperação, foram contratados dois especialistas, que apresentaram suas respectivas propostas de reparo, acompanhadas de justificativa teórica.

O especialista A apresenta uma opção que consiste em colocar camisas de concreto armado na seção média dos silos e argumenta que o dano é devido ao envelhecimento do concreto e ao esforço produzido pelo grão. Considera que tais camisas resolverão o problema, já que realizou uma inspeção onde descobriu que a fundação e a superestrutura poderiam suportar novamente as cargas, sem problema, ao serem colocadas estas camisas.

Figura 11.1. Silos de concreto armado.

O especialista B, por outro lado, ofereceu uma opção muito diferente. A experiência e conhecimentos deste especialista lhe permitiram verificar que a corrosão do silo é devida à contaminação por cloretos. Sua proposta consistiu na extração dos cloretos da parte média dos silos e a realcalinização do concreto. A análise estrutural desta empresa revelou que os silos poderiam continuar funcionando normalmente e em boas condições estruturais após a intervenção, apenas reparando as regiões danificadas com armadura exposta e realizando uma manutenção periódica nos silos com cobrimentos específicos para este tipo de obra. Esta empresa apresentou provas da existência de altas concentrações de cloretos nas imediações dos silos, apesar de estes encontrarem-se em zona urbana e distantes do ambiente marinho. Tal incidência de cloretos foi provocada pelo funcionamento de uma fábrica de sal refinado, sendo esta última transportada pelos ventos da terra até a parte média dos silos.

Ainda que este caso tenha sido verífico, para os objetivos deste capítulo basta saber que o especialista B apresentou a melhor justificativa teórica para seu projeto de recuperação, embora ainda seja necessário discutir se seu projeto satisfaz outros tipos de requisitos.

Viabilidade técnica

Pode ser que a conceituação teórica seja excelente, porém também deve existir uma viabilidade técnica (prática) razoável. Considera-se que a viabilidade técnica é razoável se, na concepção do projeto, foram levados em conta fatores tais como: pessoal e equipamentos especializados, acessibilidade, tempos de parada, tempo para a intervenção e outros fatores que possam influenciar o sucesso da recuperação.

No caso dos silos, a justificativa teórica para extrair cloretos e ao mesmo tempo realcalinizar o concreto foi excelente, porém a concepção técnica oferecida carecia de viabilidade técnica, pois a empresa teria que importar (terceirizar) estes serviços por não ter os meios adequados para garanti-los. Conseqüentemente, se fosse aplicado o plano nas condições existentes teria havido sérios problemas. Talvez tivessem que modificar a concepção de sua proposta para algo mais viável tecnicamente. De acordo com os meios de que se dispunha, foi decidido propor uma alternativa baseada em proteção catódica por termopulverização, que consiste em aplicar uma fina capa de zinco por pulverização térmica sobre a superficie do concreto e conectá-lo eletricamente à armadura por meio de barras de aço inoxidável.

Então, para avaliar a viabilidade técnica durante a concepção da intervenção, devem ser considerados pelo menos os fatores mencionados, além de outros que possam aparecer dependendo do tipo de obra de que se trate.

Custo

O custo é uma das partes mais importantes durante a concepção da proposta, porém deve-se manter um equilíbrio dos fatores mencionados na justificativa teórica e na viabilidade técnica. Uma proposta com uma

justificativa teórica e uma viabilidade técnica razoável pode ser cara. No entanto, ao questionar a concepção da intervenção, deve-se considerar a relação custo/benefício.

Viabilidade administrativa

Ao conceber a intervenção, deve - se levar em conta os fatores administrativos que enumerados a seguir:

- Alvarás de licença de construção.
- Permissões especiais do governo (patrimônios históricos em regiões afastadas, turismo, hoteis, etc.) devido às possíveis interferências com terceiros, ou os danos ao patrimônio histórico.
- Pessoal disponível.
- Interdições temporais ou a longo prazo de vias terrestres ou de comunicação.
- Interrupções prolongadas de serviços (água potável, energia elétrica, gás, telefone, Internet, etc.) que possam afetar a população em conseqüência da recuperação.
- Outros.

Ao avaliar a concepção da recuperação, devem ser levados em conta estes aspectos, que influirão definitivamente nas ações de intervenção, modificando os prazos ou as datas, assim como a mão-de-obra de terceiros.

Viabilidade ecológica (ISO 14000)

É praticamente um fato que qualquer obra em processo de construção ou recuperação tem de ser ecológica. Isto significa que para sua realização deverá ser levado em conta o meio ambiente e ser respeitada a legislação ambiental vigente. O projetista deve conceber a recuperação incluindo um estudo de impacto ambiental, quando for necessário, assim como a utilização de materiais e sistemas que tenham sido aprovados em termos ecológicos por organismos nacionais ou internacionais. Uma das opções que foram propostas para os silos do exemplo dado consistia na utilização de pinturas à base de chumbo para a proteção das regiões expostas da armadura. De fato, esta proposta não vingou por causa da legislação ambiental vigente.

Qualidade da apresentação do projeto (elementos para avaliá-lo)

Uma vez concebida adequadamente a intervenção, esta deverá ser apresentada de forma convincente e procurando deixar bem claro, passo a passo, o procedimento a seguir. Sugere-se observar tanto quanto possível as recomendações dadas a seguir, a fim de se obter o melhor resultado.

Plantas (escalas, detalhes, cortes, plantas, etc.)

A forma tradicional de apresentação de um projeto é por plantas e desenhos. No entanto, a qualidade da apresentação pode variar muito se a forma gráfica dos detalhes e procedimentos não for adequada. Independentemente do tipo de intervenção, devem ser incluídos detalhes e procedimentos (metodologia) de cada processo desta, acompanhados de plantas do conjunto que informem e situem rapidamente quem os for usar no canteiro de obras. Recomenda-se usar escala 1:100 nas plantas de conjunto, 1:50 para planta-baixa e 1:20 para detalhes. Um exemplo claro de uma apresentação adequada e outra inadequada em uma planta é dado a seguir nas Figuras 11.2 e 11.3.

Especificações

Do mesmo modo que no passado e em uma obra nova, a apresentação do projeto deverá incluir todas as especificações necessárias para a execução do reparo. Um exemplo adequado e outro inadequado de como incluir as especificações em uma planta é dado nas Figuras 11.4 e 11.5. O projeto deverá incluir também um caderno de encargos contendo as especificações completas do trabalho e a orientação necessária para a localização dos itens no projeto. Um exemplo de uma forma adequada e outra inadequada de caderno de encargos é dado nas Figuras. 11.6 e 11.7.

Desenho da planta do edifício C da Escuela de Educacción Tecnológica del Mar

Escala 1:100
Cotas em m

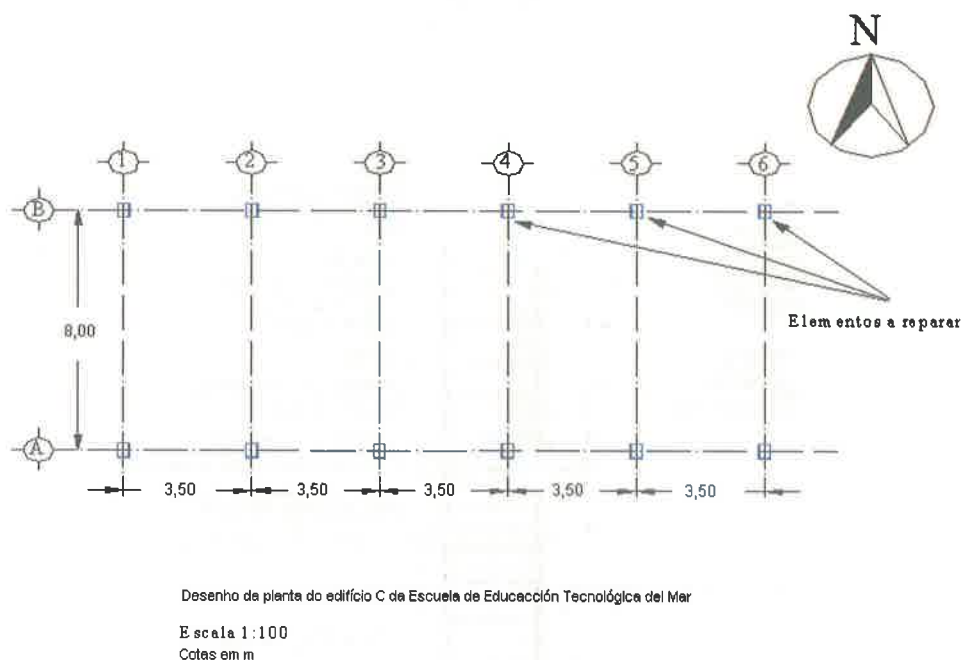



Figura 11.2. Exemplo de planta com informação suficiente. Apresentação adequada.

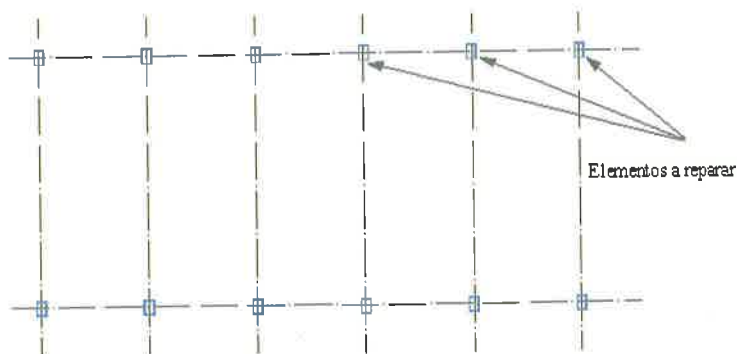



Figura 11.3. Planta sem informação suficiente. Apresentação inadequada.

F
A
REGIÃO DE REPARO
1
A'

ESPECIFICAÇÕES

FÔRMAS

A FÔRMA DEVERÁ ESTAR LIMPA, NIVELADA E LUBRIFICADA ANTES DO LANÇAMENTO DO CONCRETO DE REPARO.

ADENSAMENTO

O CONCRETO DE REPARO DEVERÁ SER ADENSADO CUIDADOSAMENTE, EVITANDO-SE "BICHEIRAS" E SEGREGAÇÃO EM GERAL NO INTERIOR DO REPARO.

CONCRETO

- USAR CONCRETO COM RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO IGUAL OU SUPERIOR À DO CONCRETO SUBSTITUÍDO.

- A DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO DEVERÁ SER PELO MENOS 1/4 " MENOR QUE A CAVIDADE FEITA AO REDOR DA ARMADURA.

- O COBRIMENTO DEVERÁ SER IGUAL AO DA ESTRUTURA ORIGINAL, DE ACORDO COM A NORMA NBR 6118:2003 (OU ACI 318).

REMOÇÃO DO CONCRETO DANIFICADO OU SOLTO, ATÉ DUAS VEZES A DIMENSÃ MÁXIMA DO AGREGADO POR TRÁS DA ARMADURA.

LIMPEZA DOS PRODUTOS DE CORROSÃO, ATÉ AO METAL "BRANCO" (ASTM G1-88)

45°
0,75 m
0,125
0,4167
N.P.T.

CORTE A-A'

Figura 11.4. Exemplo de como incluir especificações de forma adequada em uma planta.

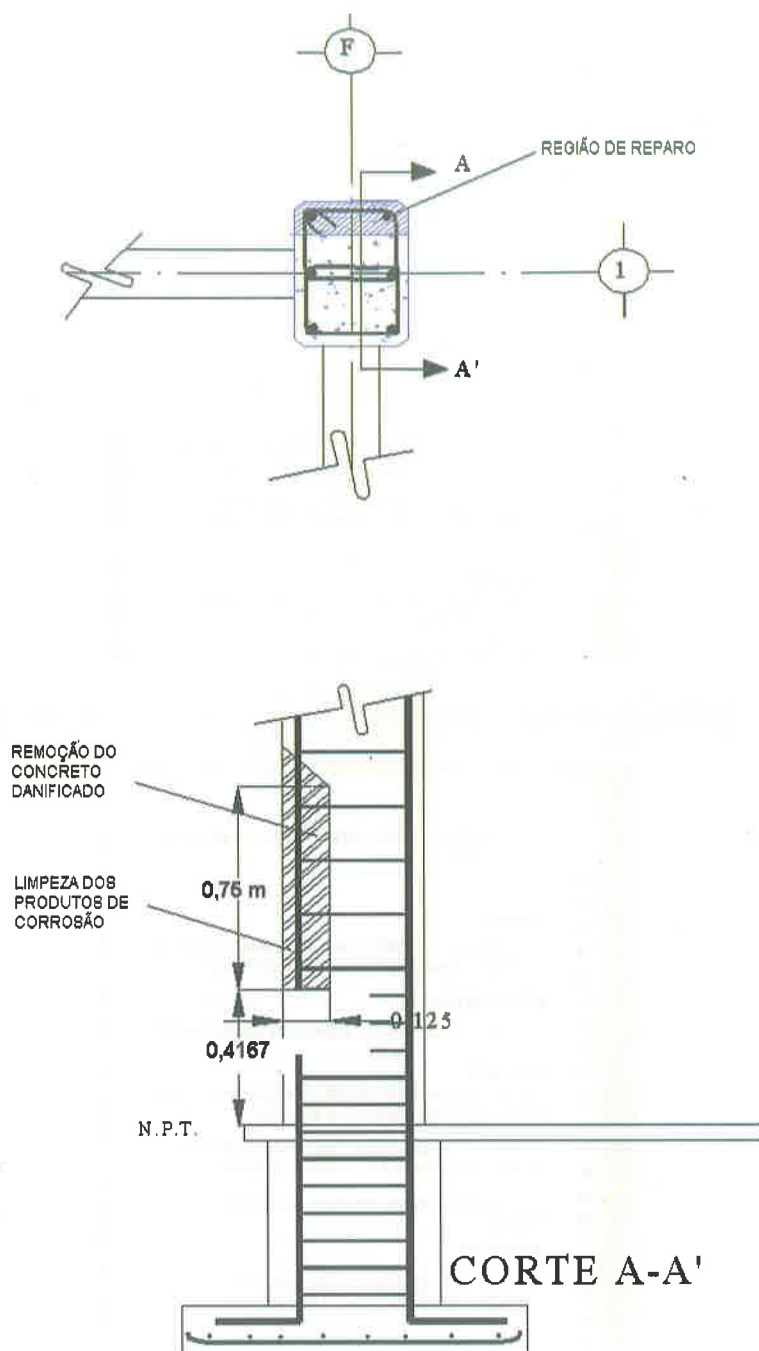



Figura 11.5. Forma inadequada de incluir as especificações em uma planta.

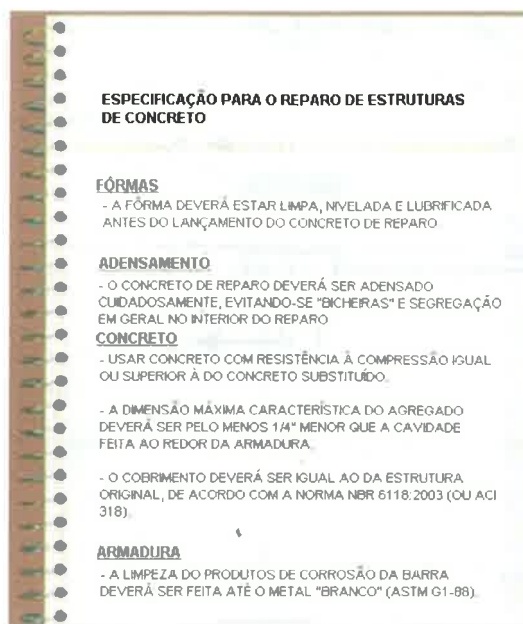



Figura 11.6. Exemplo de como incluir especificações de forma adequada num caderno de encargos.

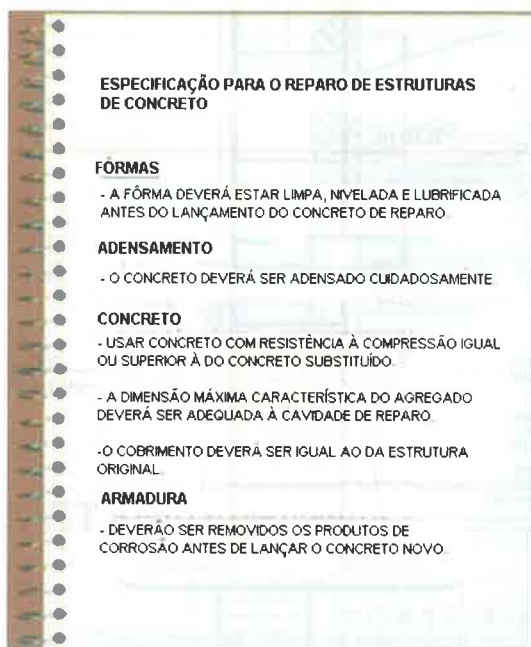



Figura 11.7. Forma inadequada do caderno de encargos.

Maquetes

Uma representação física tridimensional pode causar maior impacto que qualquer texto ou imagem. As maquetes são o meio mais apropriado para apresentar uma proposta de recuperação estrutural. Mas, uma maquete possui limitações como não poder mostrar em detalhe a seqüência de um processo ou a informação que deverá ser considerada durante sua execução. As maquetes são muito importantes nos casos de obras públicas onde um grande número de pessoas deverão ser capazes de visualizar o que se pretende executar. Na Figura 11.8 é representada fisicamente uma maquete.

Figura 11.8. Representação tridimensional de uma maquete.

Apresentação eletrônica

Hoje em dia, as empresas que avaliam um projeto de intervenção, e por fim decidem quem executará a obra, orientam seus critérios conforme a facilidade do proponente em comunicar sua proposta profissional. As apresentações eletrônicas são uma ferramenta muito poderosa e econômica para conseguir o impacto adequado e ganhar um contrato. Algumas das vantagens da apresentação eletrônica, além de seu baixo custo e disponibilidade, estão na facilidade que se tem para acessar os procedimentos e imprimi-los.

Igualmente, tem-se a facilidade de mostrar mediante desenhos ou fotografias as ações e os procedimentos que permitirão ao avaliador da proposta estabelecer seus critérios (como normativa) e assegurar-se de que os requisitos do contratante tenham sido entendidos e formatados adequadamente pela empreiteira.

A Figura 11.9 mostra o exemplo de uma janela de apresentação eletrônica em que se podem acessar vários detalhes da intervenção e seus procedimentos. Os programas de computador mais adequados para fazer este tipo de apresentações são: AutoCad, Power Point, etc.

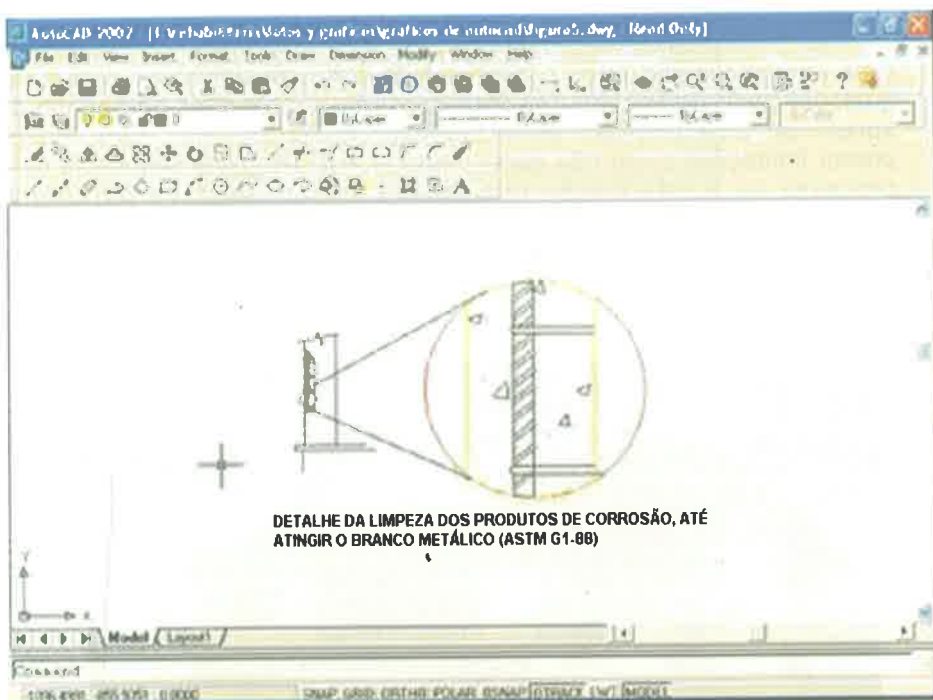



Figura 11.9. Janela de uma apresentação eletrônica.

Modelo seqüencial (projeto executivo) da recuperação

Um dos problemas que os operários e encarregados enfrentam é a pouca informação visual do serviço, sobretudo quando não o executaram antes.

A inclusão de um modelo seqüencial de reparo no projeto servirá de orientação clara a quem for designar as tarefas da obra, ao engenheiro residente, ao encarregado e ao operário; e permitirá fazê-lo bem e sem falhas. Na medida do possível, este tipo de modelos deverão ser disponibilizados na forma de brochuras ou como seqüências visuais em programas de informática.

A Figura 11.10 mostra um exemplo diferente daquele dos silos, de uma seqüência de reparos localizados no caso de pilares de edifícios expostos ao ambiente marinho.

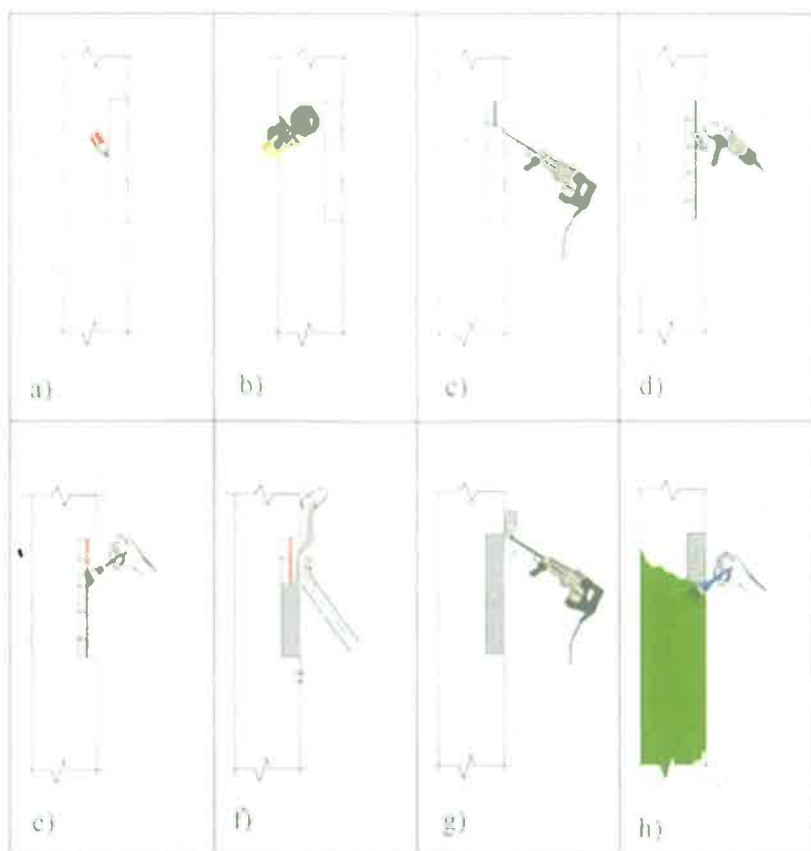



Figura 11.10. Exemplo de um modelo seqüencial de reparo.

Modelo de vida útil de projeto da recuperação

Hoje em dia existem trabalhos relevantes na literatura sobre modelos de predição da vida útil e vida útil residual, tanto de estruturas recuperadas quanto das não deterioradas (referênciais).

Com as informações disponíveis, a concepção do projeto de intervenção pode incluir um destes modelos, no qual se explique e se convença o construtor e o proprietário dos objetivos da intervenção e quanto tempo durará o benefício. A inclusão de uma predição de vida útil do reparo em bases sólidas dará confiança aos tomadores de decisão para escolherem a empresa que executará o contrato.

A Figura 11.11 mostra um exemplo simples de modelo de vida útil de um sistema de imprimação e reparo localizado de concreto armado.

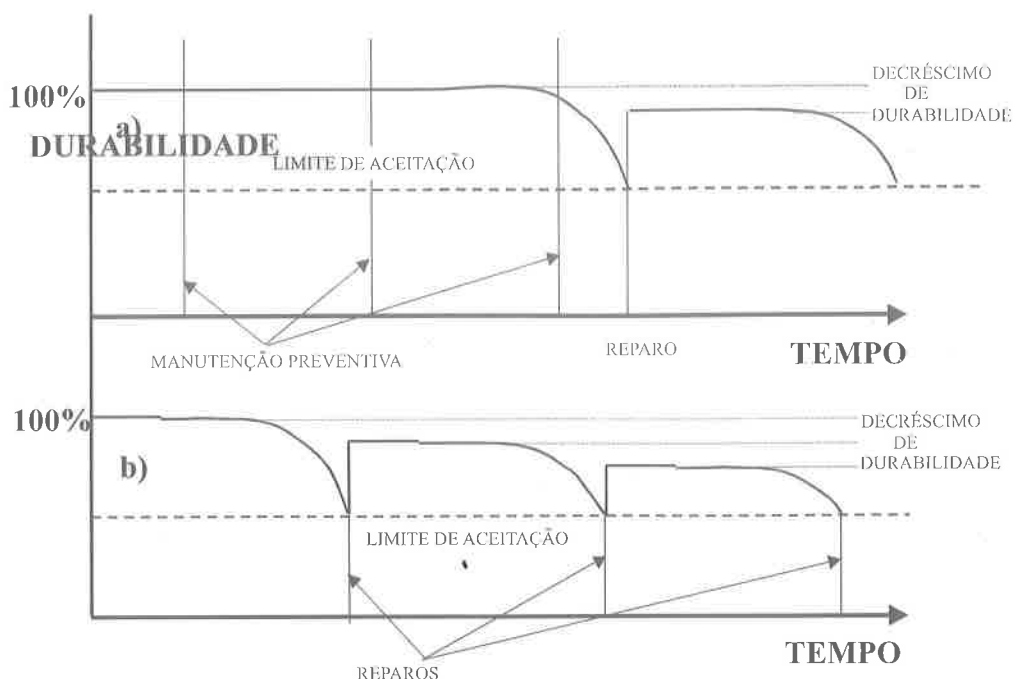



Figura 11.11. Exemplo de modelo de vida útil.

Plano de manutenção

Atualmente a qualidade da apresentação do projeto também se mede pela capacidade do empreiteiro de oferecer uma visão completa da intervenção. Esta deve mostrar um plano adequado de manutenção do reparo, já que muitos deles falham, não apenas pelo uso de um sistema ou materiais inadequados, mas por falta de manutenção do reparo.

Um exemplo de um plano de manutenção para um caso de reparo pode ser apreciado na Figura 11.12.

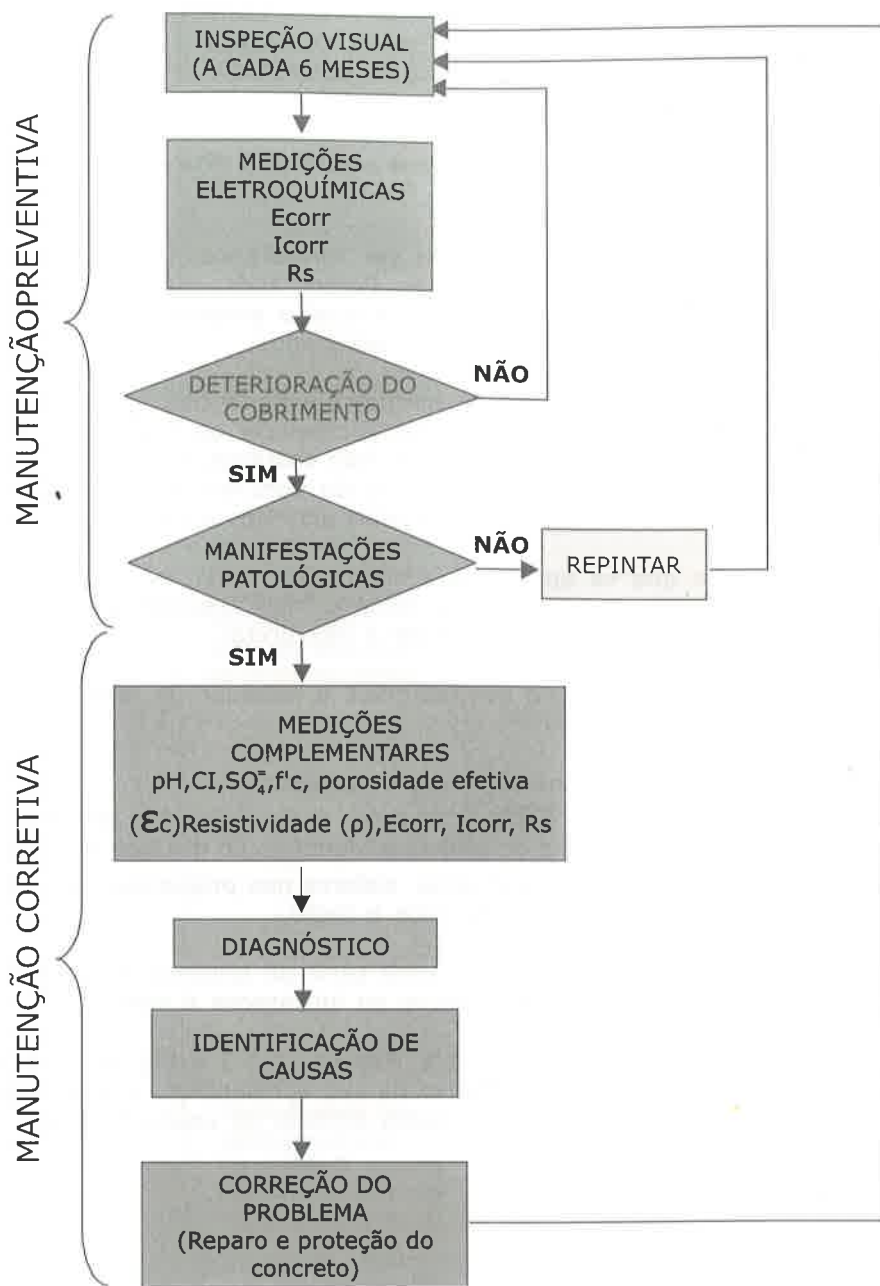



Figura 11.12. Exemplo de plano de manutenção de um reparo.

11.1 Qualidade dos Materiais e Sistemas

Neste item são mostradas opções para o estabelecimento dos critérios de seleção e aquisição de materiais, assim como dos procedimentos de recebimento, armazenamento e controle de saída e consumo no canteiro de obras.

11.1.1 Critérios para a seleção e aquisição dos materiais e sistemas

Os materiais para reparo podem ser formulados para conferir uma quantidade extensa de propriedades. Porém, todas elas podem afetar o comportamento do reparo, razão pela qual o processo de seleção e os critérios devem ser cuidadosamente estudados.

Na literatura, há vários manuais, normas e experiências de vários autores que oferecem opções completas para estabelecer os critérios de seleção de materiais e sistemas para reparos. Não obstante, o manual preparado pelo Instituto Internacional do Reparo do Concreto (ICRI-*International Concrete Repair Institute*) é um dos mais didáticos e completos.

A informação que se apresenta a seguir foi tirada, em grande parte, daquele manual e modificada para torná-lo mais acessível à comunidade, incorporando diagramas fáceis de ler e interpretar.

O processo para a seleção dos materiais e sistemas de reparo pode ser agrupado em três partes:

- A determinação dos objetivos do projeto;
- a determinação das propriedades necessárias dos materiais para cumprir os objetivos do projeto e identificação dos que as cumprem;
- a seleção do material e/ou sistema que proporcione um balanço ótimo de comportamento, risco e custo.

Nestes grupos podem-se definir uma série de critérios de seleção dos materiais e/ou sistemas, extrínsecos ou intrínsecos a eles.

Nos diagramas das Figura 11.1.1, Figura 11.1.2 e Figura 11.1.3 são mostrados estes critérios. O motivo de sua apresentação é que o usuário pode usá-los como orientação e como formato de coleta de dados.

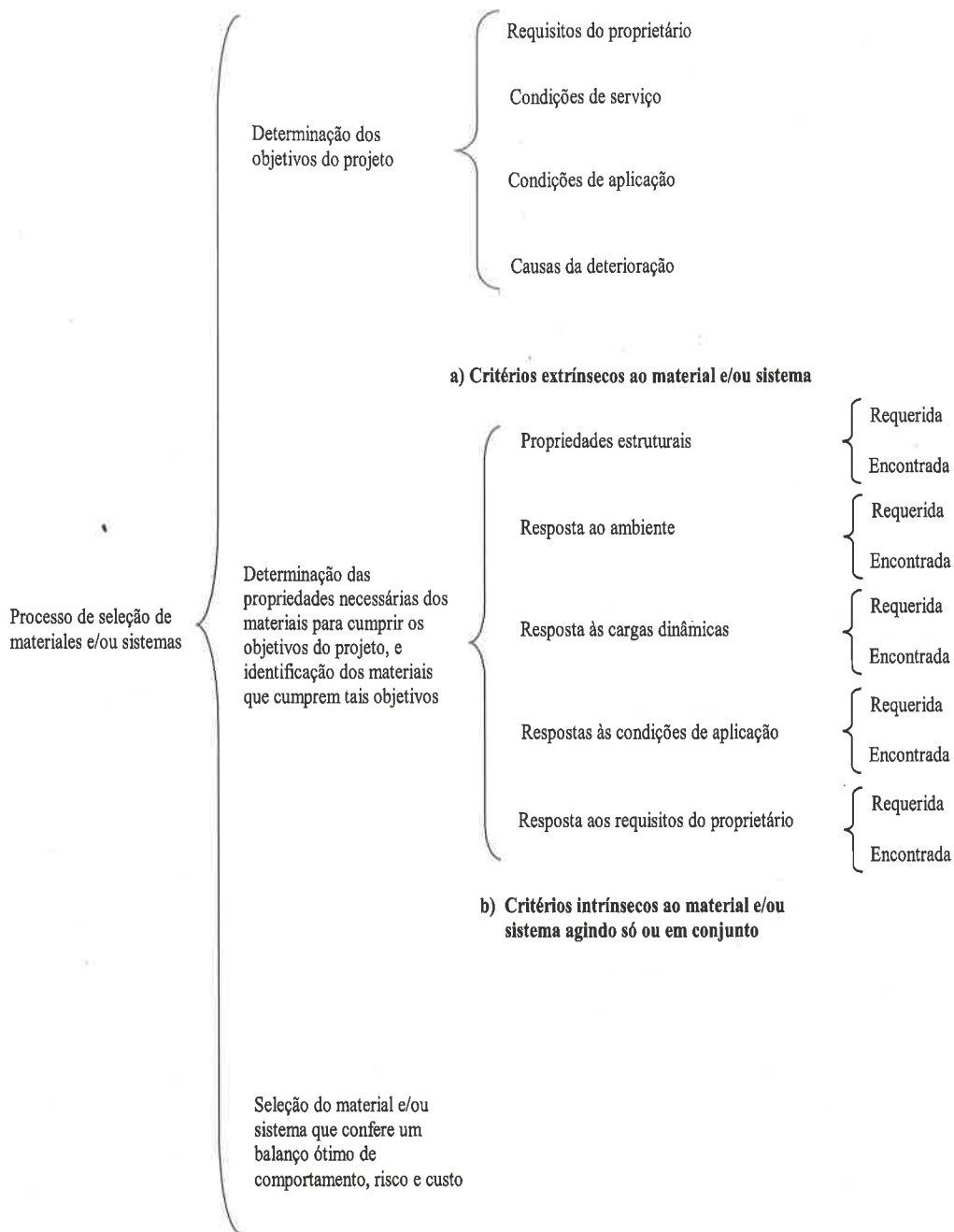



Figura 11.1.1. Diagrama de chaves para normatizar critérios de seleção dos materials e/ou sistemas.

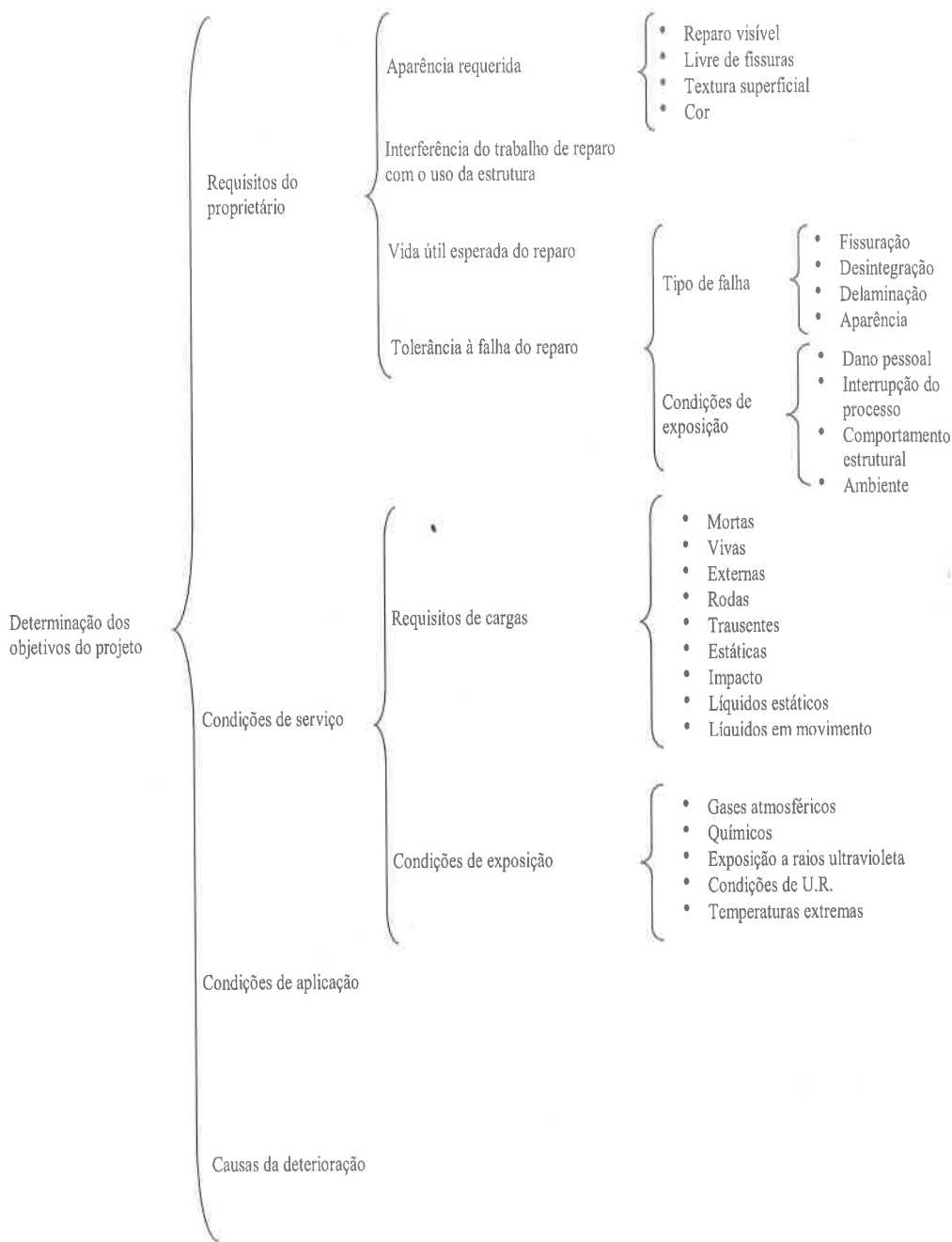



Figura 11.1.2. Diagrama de chaves para normatizar critérios de seleção dos materiais e/ou sistemas.

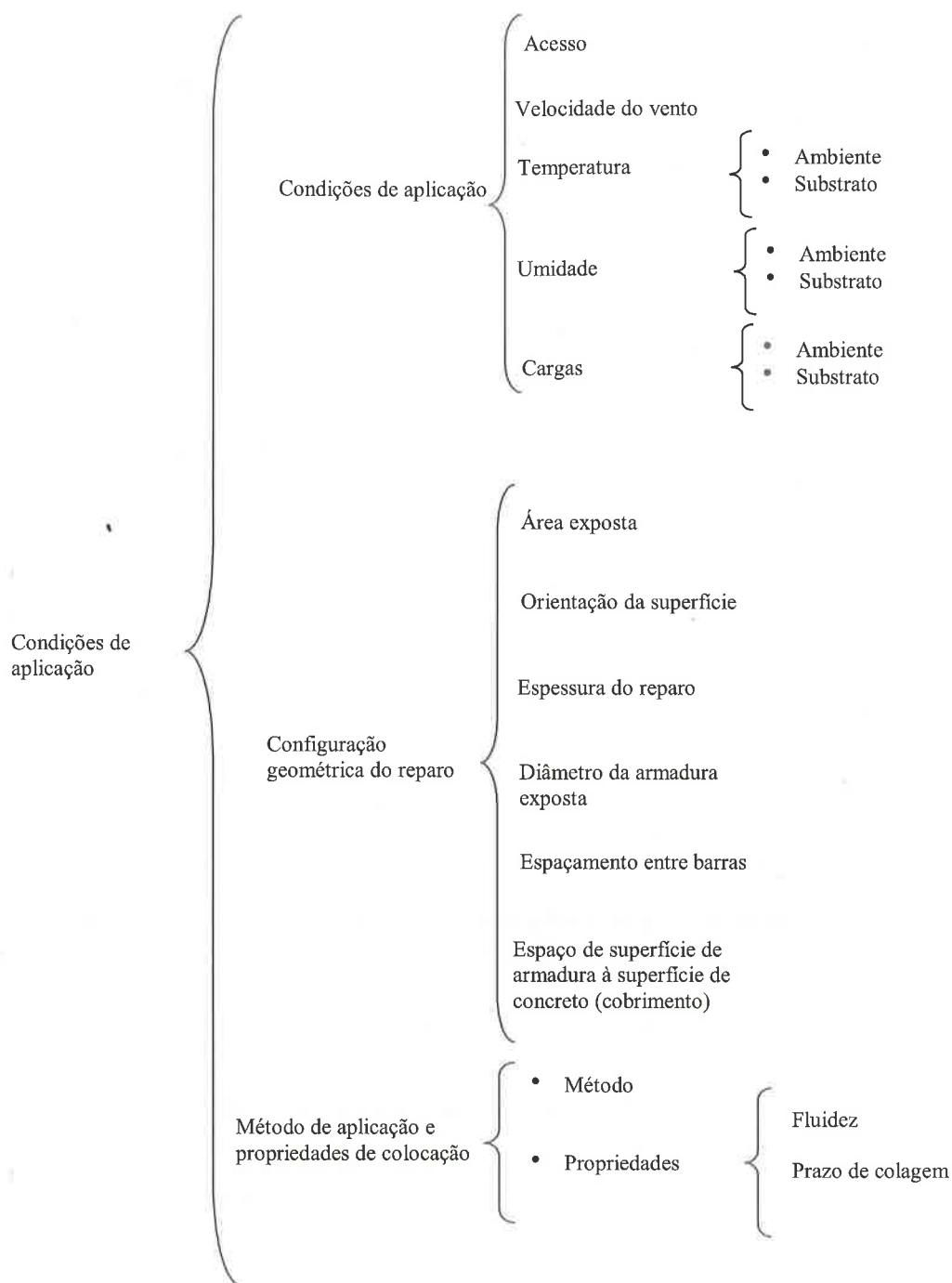



Figura 11.1.3. Diagrama de chaves para normatizar critérios de seleção dos materiais e/ou sistemas.

11.1.2 Procedimentos para a recepção de materiais e sistemas no canteiro

Pode parecer trivial, mas deverão ser considerados procedimentos mínimos para receber os materiais e sistemas no canteiro. Em seguida, são listados alguns deles:

- **Espaço disponível**. Em muitas ocasiões, os encarregados da obra (engenheiro residente ou outro profissional) não levam em conta o espaço disponível e a compatibilidade deste com o volume de materiais a receber. O problema não é apenas a falta de espaço, mas que alguns materiais têm de ser armazenados em local abrigado porque o sol ou a chuva podem ter efeito adverso sobre eles e influenciar sua funcionalidade final.
- **Adequação dos espaços**. Às vezes, conta-se com o espaço, porém este não se encontra em condições que garantam a segurança e funcionamento dos materiais, isto é, pode haver excesso de umidade, estar fazendo muito calor, ou pode have fontes de contaminação próximas, etc. Existem materiais que, sob certas condições de umidade e temperatura, podem perder algumas de suas qualidades. Um exemplo muito concreto é colocar as argamassas de reparo em locais em que haja risco de que sua embalagem se rompa e as condições de umidade sejam tão altas que iniciem sua hidratação.
- **Licenças e autorizações (importação)**. A observação dos aspectos fiscais é indispensável sobretudo quando se trata de materiais importados, que precisam estar bem documentados. Quando os materiais ou sistemas passam períodos prolongados na Alfândega, cujos funcionários não sabem armazená-los criteriosamente e não têm instalações adequadas, eles podem sofrer alterações que acarretem um funcionamento inadequado quando usados nos reparos.
- **Amostras dos materiais (garantia)**. É indispensável dispor de amostras dos materiais e sistemas que se pretende utilizar. O desempenho de tais amostras permitirá validar a garantia do produto caso este se comporte de forma diferente do previsto ou não apresente as qualidades que os fabricantes garantiram na ocasião da aquisição dos produtos.

11.1.3 Recomendações para a armazenagem no canteiro

O recebimento dos materiais requer cuidados especiais, como no caso do armazenamento no canteiro. A seguir são feitas algumas observações para que o armazenamento dê os melhores resultados:

- **Empilhamento**. Se a obra é grande e requer armazenar muito material, deve-se dar ênfase ao empilhamento do material e dispor de equipamento para isto, assim como de estrados ou páletes de madeira para que o peso dos materiais seja distribuído

uniformemente e não prejudique a embalagem do material.

- **Proteção contra o intemperismo**. Às vezes, dados seu tamanho e volume, os materiais têm que ser estocados no ambiente, ou seja, sujeito às intempéries. Quando este for o caso, deverão ser tomados os cuidados para que durante o tempo em que os materiais vão ser armazenados desta forma seu comportamento não seja afetado antes de serem usados. Por exemplo, se o reparo requer grandes quantidades de aço galvanizado, este não deverá ser deixado à intempérie por muito tempo, principalmente se o ambiente tiver um pH menor que 7 ou muito alto (> 13,5).
- **Espaços abertos ou ventilados para produtos tóxicos**. Os produtos químicos podem ser nocivos à saúde se inalados, razão pela qual às vezes não é conveniente colocá-los em locais fechados, mas sim sob o tempo. No entanto, mesmo assim, deverão ser tomadas precauções, colocando avisos (placas) próximo ao local de armazenamento.
- **Localização estratégica**. Quando é necessário o uso de grandes volumes de material, é necessário colocá-los em locais de fácil e rápido acesso, porque senão haverão custos adicionais para levá-los para os outros lugares onde serão usados.

11.2 Controle de consumo de materiais

Toda obra de recuperação, pequena ou grande, requer um controle de gastos e consumo de materiais. A seguir, são descritos alguns pontos que deverão ser considerados para tal controle.

- **Controle de estoque (inventário) e controle de saída**. O inventário é simples, e constitui a melhor ferramenta de controle. Se a obra for grande, o inventário deverá ser atualizado diariamente e o material deverá estar disponível nos prazos estabelecidos. Por outro lado, o controle de saída deverá incluir a devolução de materiais não consumidos totalmente e a reinventariação para que possam ser usados posteriormente e evitar, assim, os desperdícios.
- **Estratégia de consumo**. Deverá ser analizado se o consumo dos materiais será imediato ou por etapas. Isto se fará com a finalidade de fazer um planejamento mais adequado, observando os estoques e evitando o uso inadequado ou o desperdício.
- **Manutenção do estoque**. Deve-se fazer uma reposição imediata, requisitando os materiais à medida que se esgotarem.

11.3 Qualidade dos Equipamentos

Após o diagnóstico, o planejamento da intervenção requer levar em conta as características desejáveis dos equipamentos que serão utilizados se as superfícies de reparo vão requerer tratamento especial. Uma estrutura, para poder receber intervenção, requer um preparo que pode variar desde uma simples limpeza até uma escarificação completa ou um reforço. Às vezes, quando o sistema de reparo é complicado, como em proteção catódica,

restabelecer a integridade da superfície é apenas o primeiro passo antes da aplicação do sistema. Para preparar a intervenção e poder realizá-la, deverá ser empregado equipamento, que às vezes é sofisticado ou de dificíl aquisição. Este deverá cumprir certas condições de qualidade para a garantia de um trabalho eficiente.

Nos parágrafos seguintes, faz-se uma breve descrição do equipamento necessário conforme o método empregado, e as condições de qualidade que deverão ser cumpridas para o preparo da intervenção. Inicialmente serão abordados os equipamentos para o preparo da superfície; depois, serão abordados os equipamentos para reparos específicos. As técnicas não são descritas, e deverão ser consultadas no capítulo e item respectivo deste Manual.

11.3.1 Lavagem com detergentes

Com este método consegue-se a remoção química de óleo, graxa e outros depósitos na superfície do concreto. As regiões difíceis de alcançar, como as bordas e cantos deverão ser lavadas manualmente. Os equipamentos utilizados deverão ter escovas de cerdas duras, de preferência de polietileno, e a velocidade de rotação do equipamento deverá ser superior a 300 rpm, que é uma velocidade suficientemente rápida para garantir a limpeza completa das irregularidades da superfície do concreto. A Figura 11.3.1 mostra um esquema de lavagem em grande escala com detergentes em superfícies de concreto.

Figura 11.3.1. Exemplo de lavagem em grande escala com detergentes em superfícies de concreto.

11.3.2 Limpeza com água sob baixa pressão

Este método consiste em jatear água sob pressões inferiores a 5.000 psi (34,5 MPa). Esta técnica não remove a capa superficial de concreto e nem produz marcas significativas na superfície. É utilizada satisfatoriamente para remover sujeira e material solto, contaminações solúveis em água na superfície e nas cavidades superficiais, assim como para retirar o entulho produzido por outros métodos mais agressivos de preparo da superfície. O equipamento deverá possuir: bomba de reforço para aumentar a pressão da água, mangueiras para alta pressão, ser equipado com rodas para fácil deslocamento e bico adequado. A Figura 11.3.2 mostra um exemplo de limpeza sob baixa pressão.

Figura 11.3.2. Exemplo de limpeza sob baixa pressão.

11.3.3 Remoção química de pastas de cimento

Consiste em utilizar uma mistura de solventes solúveis em água formados por diferentes ácidos que, aplicados com escovas mecânicas, servem para remover a capa superficial da pasta de cimento até expor o agregado fino. É utilizada para preparar a superfície do concreto antes de aplicar algum revestimento, como: películas de zinco, seladoras, revestimentos base epóxi, uretanas, acrílicos e revestimentos alcalinos. O equipamento deverá ter um recipiente para armazenar a solução ácida, um sistema aplicador da solução de baixa pressão com pulverizador plástico e uma máquina para lavar pisos equipada com escova abrasiva. Após a lavagem ácida, deverá ser feito o enxagüe utilizando uma máquina potente para lavar pisos. A Figura 11.3.3 mostra um exemplo desta aplicação e do equipamento necessário para realizá-la.

Figura 11.3.3. Exemplo desta aplicação e do equipamento necessário para realizá-la.

Stroga, http:// www.trelanyspt.com

11.3.4 Jato de areia abrasivo

O método consiste em jatear sob alta pressão, superior a 5.000 psi (34,5 MPa), uma mistura de ar comprimido contendo um abrasivo. Serve para limpar a superfície do concreto ou do metal. Algumas considerações sobre o equipamento são: compressor de ar com capacidade suficiente para o equipamento em uso, separadores de umidade ou óleo para garantir o fornecimento de ar seco ao sistema, e bicos e mangueiras (mangotes) especiais para suportar as rajadas do abrasivo e adequados ao tamanho das partículas do abrasivo. O abrasivo pode ser areia de sílica ou escória de alto forno. A Figura 11.3.4 mostra um exemplo da utilização do jato de areia abrasivo.

Figura 11.3.4. Exemplo da utilização do jato de areia abrasivo.

11.3.5 Máquina de jato de granalha reciclável (*steel shotblasting*)

O método consiste em impactar centrifugamente esferas (granalha[1]) de aço em alta velocidade que, ao colidirem com a superfície do concreto, removem alguns tipos de revestimentos, adesivos e contaminantes superficiais. O método é utilizado para preparar a superfície do concreto

removem alguns tipos de revestimentos, adesivos e contaminantes superficiais. O método é utilizado para preparar a superfície do concreto para receber algum outro sistema de revestimento protetor. Recomendam-se máquinas com partes separáveis, para facilitar a manutenção, e escovas magnéticas para capturar as esferas que escaparem durante a utilização. A Figura 11.3.5 mostra um exemplo de utilização da máquina de jato de granalha reciclável.

Figura 11.3.5. Exemplo de utilização do jato de granalha.

11.3.6 Fresa

O equipamento pode ter várias apresentações, uma delas consiste em um tambor giratório com facas (pastilhas) de corte que impactam o concreto em ângulo reto para fraturá-lo ou pulverizá-lo. Estão disponíveis em uma faixa de tamanhos do passo que vai de 10 a 90 cm. Recomenda-se trocar as facas de corte a cada 8 horas de operação contínua. A Figura 11.3.6 mostra um exemplo da utilização de um equipamento para escarificação.

Scary, http:// www.creamridgeen.com

Figura 11.3.6. Exemplo de equipamento para escarificação.

[1]N.T.: As granalhas podem ser do tipo *shot*, esféricas, ou *grit*, angulares. O texto do item 11.3.5 refere-se a granalhas do tipo *shot*.

11.3.7 Pistola de agulha (*Needle scaling*)

Este equipamento é utilizado em locais fechados e de difícil acesso onde não podem ser usados equipamentos maiores. É excelente para detalhar cantos e bordos de estruturas. Também pode ser utilizado debaixo d'água. Não é recomendado para grandes áreas. A pistola de agulhas está disponível em vários tamanhos e é impulsionada pneumaticamente. Requer um compressor de ar que proporcione uma pressão de 80 a 120 psi (0,55 a 0,83 MPa). A Figura 11.3.7 mostra um exemplo do equipamento a utilizar.

Leedle Chesel Scalers, http:// www.trelawnyspt.com

http:// www.dewalt.cl

Figura 11.3.7. Exemplo de pistola de agulhas.

11.3.8 Jato de água sob alta e ultra-alta pressão

Este método consiste em jatear água sob pressões entre 5.000 e 45.000 psi (34,5 a 310 MPa) para remover incrustações de sujeira e material solto ou mal aderido. Também pode ser usado para remover revestimentos epoxídicos e uretânicos, dentre outros. É usado para remover capas carbonatadas do concreto. O equipamento consiste de uma bomba d'água de pressão, compressor de ar que produza um mínimo de 85 cfm (21 HP) a 120 psi (0,83 MPa), mangueiras de alta pressão, bicos adequados, equipamento de jato d'água com rodas para

http: // www.igon.com

http:// www.hako.es

http:// www.hako.es

Figura 11.3.8. Exemplo da utilização do equipamento de jato de água sob alta e ultra-alta pressão.

deslocamento horizontal e roupa de segurança para o operário, para protejê-lo do entulho e da água. A Figura 11.3.8 mostra um exemplo da utilização do equipamento.

11.3.9. Apicoamento com martelo de pinos (*Scabbling*)

O método consiste em impactar a superfície do concreto em ângulo reto com pistões dotados de cabeçotes de corte. É utilizado para remover revestimentos epoxídicos, de poliuretano, sistemas metilmetacrilatos, superfícies deterioradas de concreto, em espessuras de 3 mm a 6 mm ([!» a ¼»). Pode causar microfissuras no substrato, e a superfície resultante é muito irregular. Deve-se cuidar para que o equipamento seja movido por um compressor de ar que produza uma pressão de 180 cfm (45 HP) a 120 psi (0,83 MPa), para garantir um bom funcionamento, assim como mangueiras de ar de 12 mm a 50 mm (½» a 2") de diâmetro interno. A Figura 11.3.9 mostra exemplos de equipamentos que funcionam como um martelo de pontas.

Deck Scalers, http://www.trelawnyspt.com

www.dewalt.cl

www.dewalt.cl

Figura 11.3.9. Exemplos de martelos de pontas.

11.3.10 Queima controlada (*Flame blasting*)

O método consiste em combinar oxigênio e acetileno para produzir uma chama, que é aplicada sobre a superfície do concreto para remover contaminantes, másticques, membranas elásticas, pinturas e outros revestimentos usados na construção. Requer temperaturas da ordem de 1.760 ºC a 3.200 ºC (3.200 ºF a 5.800 ºF), e vapores tóxicos são produzidos com o desprendimento de alguns revestimentos. Requer equipamento especial projetado para controlar a chama e com a possibilidade de controlar a fonte de combustível.

Também requer mangueira suficiente para transportar o combustível do local de armazenamento até a área de trabalho. A Figura 11.3.10 mostra um exemplo deste método.

http://www.chemicalproductsokc.com/Procedure%207.htm

Figura 11.3.10. Exemplo do método de queima controlada.

11.3.9. Escavadeira perfuratriz (*Milling/rotomilling*)

É um método agressivo para remover a capa superficial do concreto por escavação usando uma máquina grande. O método é utilizado para remover concreto são, mástique e outros revestimentos duros. Produz muito ruído, pó e vibração extrema, que provoca microfissuras no substrato. O equipamento consiste em uma máquina perfuratriz transportada por um trator de esteira baixa, equipamento para remover o entulho, que pode incluir carregador, sistemas de condução, pás e vassouras, cabeçotes e dentes da perfuratriz. A Figura 11.3.11 mostra diferentes exemplos do equipamento que pode ser utilizado para esta finalidade.

http:// www.dunnco.com

http:// www.aquatool.net

http:// www.aquatel.com

Figura 11.3.11. Diferentes ilustrações do equipamento que pode ser utilizado para realizar esta atividade.

11.4 Qualidade Durante a Identificação das Anomalias

A incorreta identificação dos danos[1] conduz a estratégias equivocadas de reparo que têm como conseqüência, entre outras, gastos desnecessários e vida útil residual menor que a desejada.

No momento da realização da inspeção, deverão ser seguidos certos critérios orientativos que permitam identificar os danos na estrutura da forma mais precisa possível.

Neste item do Capítulo 11 são descritos casos específicos de como identificar danos com qualidade. Tenta-se mostrar alguns casos gerais sem pretender abarcar o universo das possibilidades. O objetivo é despertar a curiosidade do leitor para que este possa pouco a pouco ir dispondo de ferramentas que lhe permitam elaborar seus próprios casos.

11.4.1. Delaminação

O exame pode ser realizado por percussão ou sondagem sobre a superfície do concreto. Pode ser feito com um pequeno martelo de borracha ou outra ferramenta de impacto. O propósito é detectar áreas delaminadas da estrutura de concreto ou agregado solto na superfície do substrato. A Figura 11.4.1 mostra um exemplo.

http://www.serma.cl/servicios/3

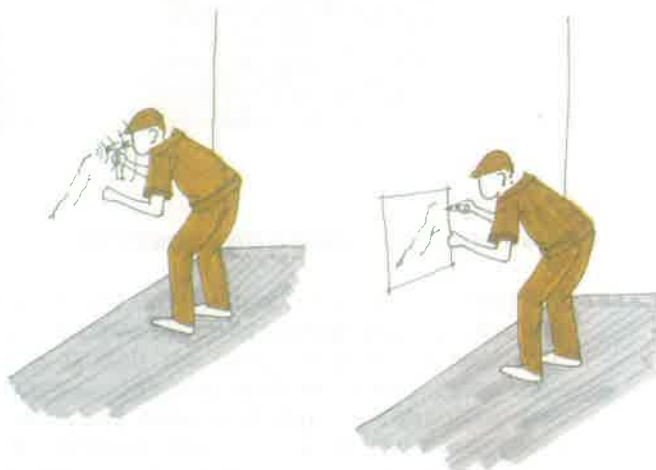



Figura 11.4.1. Exemplos de percussão ou sondagem sobre a superfície do concreto.

[1]N.T. Isto é, o diagnóstico incorreto.

11.4.1. Abertura e profundidade de fissuras

A abertura da fissura pode ser medida com aparelhos mecânicos em estruturas expostas, levando em consideração que a abertura da fissura varia com o tempo e com as variações climáticas. Pode ser medida também com gabaritos tipo fissurômetros. Para fazer um acompanhamento correto e propor um método adequado de reparo, deverão ser incluídos dados tais como as variações das condições climáticas, a temperatura na superfície e as datas de medição. Para determinar o tipo de fissura, seu estado e avanço deverão ser extraídos testemunhos nos casos em que a integridade da estrutura não estiver comprometida. O uso de ultra-som pode conduzir a resultados interessantes. A Figura 11.4.2 mostra um exemplo da identificação de danos deste tipo usando o fissurômetro.

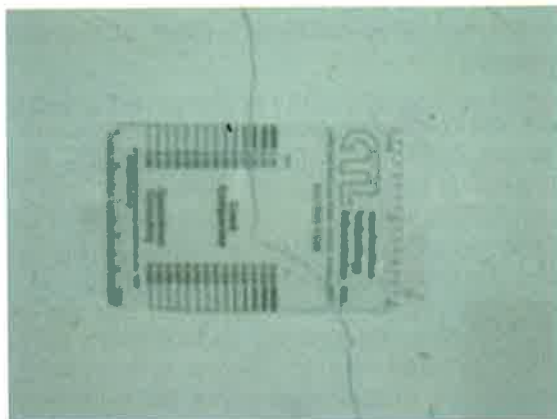



Figura 11.4.2. Identificação de fissuras por medição com fissurômetro.

11.4.1. Teor de umidade do substrato

As vezes é necessário conhecer o teor de umidade do substrato antes da aplicação de um revestimento ou pintura, ou simplesmente para verificar se o teor de umidade pode ser danoso à estrutura ou ser a causa da deterioração. Deve-se distinguir entre uma superfície seca, uma úmida e uma molhada: a superfície seca pode ser verificada fazendo-se uma pequena fratura de 2 cm e não havendo diferença de coloração entre a superfície e o interior do material decorrente do processo de secagem; a superfície úmida fica mais escura, porém sem capa de umidade superficial, enquanto que a superfície molhada distingue-se por esta capa de umidade. Podem ser determinados os valores de umidade com amostras pequenas ensaiadas no laboratório. Pode-se medir também a resistividade aparente a determinada profundidade como uma maneira de saber o grau de umidade ou secagem da superfície. A Figura 11.4.3 ilustra um exemplo deste caso.

Figura 11.4.3. Exemplo de como medir a umidade pela resistividade aparente.

11.4.1. Medição de temperatura no substrato

A medição da temperatura é importante para poder detectar casos, por exemplo, de gradientes de temperatura que possam ser a causa do dano detectado. Pode-se medir a temperatura superficial usando termômetros especiais ou termopares. O termômetro deve ser colocado na posição de medição, de acordo com as instruções do fabricante, e a leitura tomada quando for atingida a estabilização.

A Figura 11.4.4 mostra um exemplo de medição de temperatura com um medidor portátil em um corpo-de-prova de concreto a uma determinada profundidade.

11.4.2. Medição do teor de cloretos no concreto

Quando o dano ocorre em estruturas situadas em ambiente marinho ou nas em que há suspeita de exposição a cloretos durante a produção (cloreto de cálcio) ou uso habitual, deverá ser feita a análise por dosagem de cloretos. Esta analise ajudará a dar uma avaliação mais completa e uma identificação adequada das causas do dano. Em geral, faz-se uma extração de testemunhos cilíndricos de concreto cortados a diferentes profundidades e pulverizados ou usa-se uma furadeira elétrica para extrair o pó de concreto a determinadas profundidades. Os pós obtidos são examinados em laboratório por métodos conhecidos e padronizados (NACE, ASTM, BS, etc), e os valores resultantes dão uma indicação do grau de contaminação por cloretos da estrutura. A Figura 11.4.5 mostra uma parte do processo de obtenção de dados de cloretos.

Figura 11.4.4. Medição de temperatura com medidor portátil em um corpo-de-prova de concreto a uma determinada profundidade.

Figura 11.4.5. Parte do processo de coleta de dados de cloretos.

11.4.6. Resistividade do concreto ou do solo

Às vezes as estruturas apresentam manifestações de danos que podem ser atribuídas a diferentes causas desconhecidas. Uma maneira de saber se os danos são devidos a problemas de corrosão ou durabilidade é pela medição da resistitividade. Pode-se medir a resistividade aparente pelo método das quatro pontas diretamente na obra, ou podem ser extraídos corpos-de-prova cilíndricos e ser feito o ensaio de resistividade real neles. Ambos dão uma idéia do problema e podem ser facilmente interpretados. A Figura 11.4.6 mostra um exemplo de medição de resistividade em uma estrutura. Também pode-se medir a resistividade em solos como um método para conhecer o risco a que a estrutura tem estado exposta e para descartar outras causas do dano. Estes ensaios em solos e concretos estão padronizados por organismos tais como NACE, ASTM, dentre outros.

Figura 11.4.6. Exemplo de me

11.4.7. Perda de seçã

A perda de seção
importante no mom
mecanicamente utili
barra de aço. Assim
decisões para a rec
estrutura analisada
11.4.7 mostra um e

Figura 11.4.7. Exem

11.5 Qualidade durante

Quando se executa
se este cumpre os
que está exposta a
ter ocorrido durante

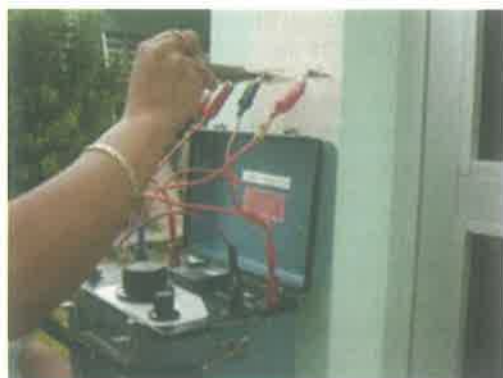



Figura 11.4.6. Exemplo de medição da resistividade em uma estructura usando o método das quatro pontas.

11.4.7. Perda de seção

A perda de seção na armadura é, por diferentes razões, um detalhe importante no momento da identificação dos danos. Deve ser medida mecanicamente utilizando um vernier e após ter sido feita a limpeza da barra de aço. Assim, conforme o resultado obtido poderão ser tomadas decisões para a recuperação, inclusive, se necessário, um recálculo da estrutura analisada com base na medição da perda de seção. A Figura 11.4.7 mostra um exemplo de como medir a perda de seção.

Figura 11.4.7. Exemplo de como medir a perda de seção da armadura.

11.5 QUALIDADE DURANTE A EXECUÇÃO DO REPARO

Quando se executa o reparo, existe uma série de passos para verificar se este cumpre os requisitos mínimos de qualidade. Um dos problemas a que está exposta a estrutura após a recuperação são os vícios que podem ter ocorrido durante sua execução.

Qualquer dano do concreto armado que requer reparo pode dever-se principalmente a três causas fundamentais:

- Uma ação de efeito estrutural decorrente de um projeto inadequado, um excesso de cargas de projeto ou acidentais.
- Uma ação do ambiente no qual está situado o concreto, como a dos cloretos, sulfatos, dióxido de carbono ou gelo e degelo.
- Uma ação dos constituintes dos materiais, decorrente de reações deletérias, como por exemplo a reação álcali-agregado.

Reparar o concreto armado em função destes três fatores requer uma intervenção cuidadosa e cuja execução depende do problema a resolver.

Neste item são apresentadas alguns procedimentos gerais para controlar a qualidade durante a execução do reparo, e depois são descritos alguns exemplos para cada uma das causas de deterioração mencionadas acima.

11.5.1. Procedimentos gerais para o controle de execução do reparo

Para controlar adequadamente a execução de um reparo existem procedimentos específicos conforme o caso, como os dos incisos a) e b), e outros gerais como os dos incisos c) a f). Em geral, o encarregado da obra (ou engenheiro residente) deverá possuir conhecimentos básicos para:

a. Saber quais são as características da anomalia a reparar e poder identificá-lo corretamente na estrutura.
b. Conhecer a metodologia proposta pela empreiteira para fazer o reparo e ter um critério para poder opinar e dar um parecer ratificando ou corrigindo a metodologia.
c. Avaliar a capacitação do operário para realizar o reparo.
d. Identificar adequadamente os materiais e suas características adequados para o reparo em questão.
e. Identificar as características do equipamento a utilizar e poder opinar sobre sua adequação e estado de manutenção para o reparo.
f. Ter um critério para propor soluções alternativas efetivas em casos onde o imprevisto tenha um papel importante no reparo, como por exemplo a ocorrência de chuvas.

No exemplo seguinte são ilustrados os procedimentos mencionados de a) a f). Considerando que os casos de c) a f) são gerais para cada tipo de recuperação ou reparo, serão mostrados apenas no primeiro exemplo.

Exemplo 1

Danos em uma ponte de concreto armado em ambiente marinho devidos a projeto inadequado e acidentes.

a) Características da anomalia a reparar e sua identificação correta na estrutura.

Esta ponte foi construída para comunicar as correntes da água do mar e de um pântano (Figura 11.5.1). Após a construção, foram feitos vários furos para a drenagem (Figura 11.5.2). Infelizmente, porém, não se atentou para a necessidade de acabamentos tipo goteiras (Figura 11.1.3) na parte inferior. Conseqüentemente, a água da chuva foi escorrendo por tais goteiras durante vários anos, percorreu o concreto produzindo uma lixiviação e umedecimento paulatino e constante deste (Figura 11.5.4 e Figura 11.5.5). Neste contexto, a brisa marinha produziu danos graves por corrosão na ponte (Figura 11.5.6), que se agravaram com o lascamento do concreto em função do impacto de embarcações na parte central (Figura 11.5.7) e da conseqüente exposição da armadura ao meio ambiente (Figura 11.5.8).

Figura 11.5.1. Ponte construída para comunicar as correntes de água do mar e de um pântano.

Figura 11.5.2. Furos com função de dreno.

Figura 11.5.3. Falta de acabamento em forma de goteira na parte inferior da ponte.

Figura 11.5.4. Escorrimentos de água de chuva que foram escapando pelos furos de drenagem durante vários anos, produzindo lixiviação no concreto.

Figura 11.5.5. Umedecimento lento e constante na parte inferior da ponte.

Figura 11.5.6. A atmosfera marinha e os escorrimentos produziram danos graves por corrosão na ponte.

Figura 11.5.7. Desprendimentos de concreto em decorrência de impactos de embarcações na parte central da ponte.

Figura 11.5.8. A conseqüência dos impactos na ponte foi a exposição da armadura ao meio ambiente.

b) Metodologia proposta pela empreiteira para fazer o reparo e critérios para poder opinar e dar um parecer ratificando ou corrigindo a metodologia.

Em conseqüência dos danos observados, a empreiteira propõe a recuperação completa incluindo a remoção do concreto contaminado com cloretos (Figura 11.5.9), a limpeza da armadura (Figura 11.5.10), a substituição da armadura onde a perda de seção inviabiliza o desempenho satisfatório da ponte, e, para finalizar, a aplicação de um sistema de proteção catódica por pulverização de zinco (Figura 11.5.11).

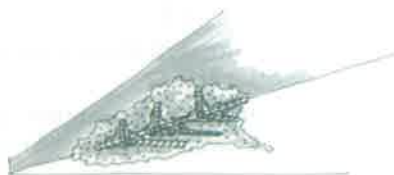



Figura 11.5.9. Remoção de concreto contaminado por cloretos.

http://www.aimad.es/reparacion.htm

Figura 11.5.10. A limpeza do aço.

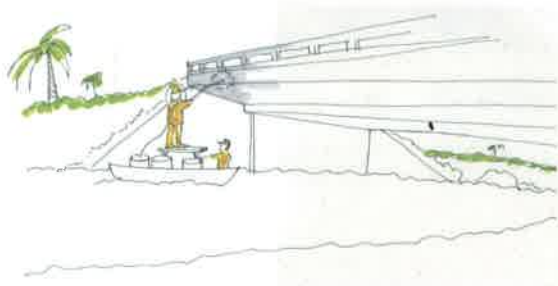



Figura 11.5.11. Sistema de proteção catódica com pulverização de zinco.

Nesta situação, o encarregado deverá poder opinar sobre a metodologia de reparo proposta nos termos seguintes:

- Quantas pessoas serão empregadas?
- Que equipamento e escoramento/andaime serão utilizados?
- Que critério será seguido para substituir barras de aço?
- Como se pretende limpar a armadura e que critério de cálculo da capacidade portante será utilizado?
- Que horário de trabalho e precauções de segurança serão seguidos?
- Quanto tempo demorará o reparo?
- Será necessário interromper o trânsito? De que modo e em quais horários?
- Como será feita a garantia da qualidade do reparo executado pelos operários?
- Como se garantirá que o zinco permanecerá úmido para que o sistema de proteção catódica funcione?, etc.

c) Capacitação do operário para realizar o reparo.

Durante a execução dos reparos, o encarregado deverá avaliar algumas

habilidades e conhecimentos dos operários, tais como:

- Consegue ler e pôr em prática corretamente as instruções sobre como preparar e aplicar os materiais?
- Conhece e manuseia adequadamente os equipamentos necessários para o reparo?
- Tem algum critério para definir quando é preciso substituir elementos da estrutura ou do equipamento que está utilizando?
- Entende corretamente as instruções de seus superiores?, etc.

d) Identificar corretamente os materiais e características adequados para o reparo em questão.

O encarregado deverá conhecer os materiais a empregar e deverá poder discernir várias coisas como as seguintes:

- Estão sendo usados o cimento, aço, tintas, etc. especificados?
- Vai ser possível comparar e propor materiais alternativos para o reparo caso haja escassez no mercado?
- Consegue perceber se há incompatibilidade entre os materiais novos e os existentes?, etc.

e) Identificar as características do equipamento a utilizar e poder opinar sobre sua adequação e estado de manutenção para o reparo.

O encarregado deverá conhecer, por exemplo, algumas ou várias das características seguintes do equipamento a utilizar:

- O equipamento serve para o objetivo?
- Vai precisar de algum arranjo especial?
- Requer critérios especiais de segurança?
- O equipamento suportará a carga de trabalho, é novo, velho, usado, alugado, próprio, etc.?

f) Ter um critério para propor soluções alternativas efetivas em casos onde o imprevisto tenha um papel importante no reparo, como por exemplo a ocorrência de chuvas.

O encarregado deverá ter capacidade para propor uma ação em casos de contingência, como alguns dos seguintes:

- Chuvas e temporais.
- Tráfico pesado.
- Extensão do horário de trabalho afetando a circulação de veículos.
- Contingências por forças da natureza, como terremotos e furacões.
- Roubos de materiais e equipamento que afetem o desenvolvimento da obra de recuperação.

- Escassez de materiais de demanda urgente.
- Falta de energia elétrica.
- Atraso na coleta de lixo da obra (entulho, fôrmas descimbradas, etc) por falta de espaço.
- Poluição voluntária ou involuntária do meio ambiente, etc.

Exemplo 2

Danos por gelo e degelo em rodovias ou pontes.

a) Características da anomalia a reparar e sua identificação correta na estrutura.

Os danos por gelo e degelo geralmente ocorrem em superfícies horizontais expostas à água, ou verticais que estão na linha de água de zonas submersas.

A água congelada nos poros expande-se causando forças locais de tração que ocasionam a fratura na forma de pequenos fragmentos do concreto que está próximo à superfície. A água então penetra um pouco mais na parte sã, e o processo se repete para dentro, a partir da superfície. O encarregado da obra tem que ser capaz de identificar situações que realmente indiquem que existe o problema. Algumas delas são o aumento da porosidade, da umidade de saturação, ciclos de temperatura que favoreçam o gelo e degelo, ar incorporado, superfícies horizontais em que a água fique estancada, agregados com pouca capilaridade e alta absorção, etc. A Figura 11.5.12 ilustra o mecanismo de desintegração devida aos ciclos de gelo e degelo.

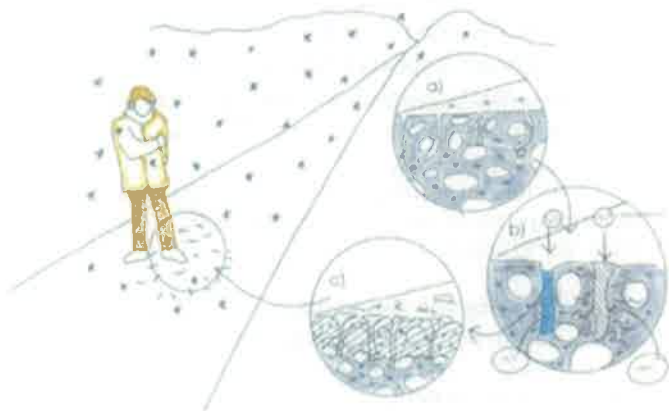



Figura 11.5.12. Mecanismo de desintegração devida a ciclos de gelo-degelo: a) concreto poroso sujeito a gelo e degelo, b) processo de entrada de água com congelamento e expansão, c) fissuração e dano por expansão.

b) Metodologia proposta pela empreiteira para fazer o reparo.

Para controlar a execução do reparo do dano por gelo e degelo, o encarregado deverá não apenas conhecer os fatores que o favoreceram, mas também desenvolver um critério para poder opinar sobre a questão e dar um parecer que permita um reparo correto e expedito.

O encarregado deverá estar ciente de que a deterioração por gelo e degelo ocorre em duas etapas: na primeira etapa, havendo todos os fatores necessários para a deterioração, eles concorrem todos. Nesta etapa, em que não ocorreu ainda o dano, o encarregado deverá verificar que a única circunstância que merece intervenção é quando há presença de água, umidade, ciclos extremos de temperatura e grande porosidade do concreto. Pode-se verificar tudo isto via testes expeditos com pluviômetros, medidores de umidade e temperatura e técnicas para medir a porosidade. Uma vez feito o anterior, o passo seguinte é a aplicação de seladores (impermeabilizantes), membranas ou revestimentos que impeçam a passagem da água. Desta maneira, serão prevenidos os efeitos do gelo e degelo. A Figura 11.5.13 ilustra os passos que deverão ser seguidos nesta etapa.

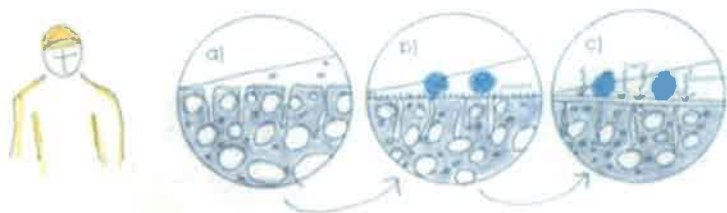



Figura 11.5.13. Passos a seguir quando ainda não ocorreu dano: a) concreto poroso em clima propenso a dano por gelo e degelo, b) aplicação de selante, c) aplicação de membrana.

A segunda etapa da deterioração por gelo e degelo é quando já houve vários ciclos de gelo e degelo, produzindo-se danos importantes na superfície do concreto. Nestes casos, a aplicação de seladores, membranas e revestimentos não vai funcionar. O engenheiro deverá especificar uma reconstituição da seção de concreto utilizando materiais similares aos originais e após isto, então, é que se pode proceder, como medida de precaução, à instalação de seladores, membranas ou revestimentos. A Figura 11.5.14 mostra os detalhes desta etapa.

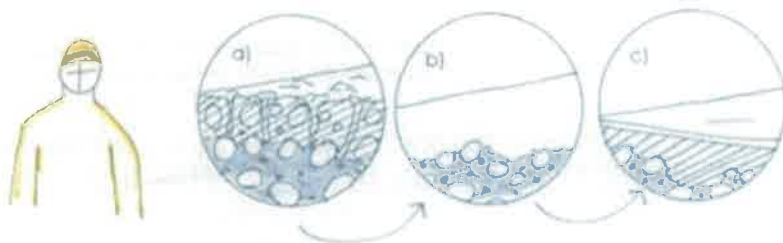



Figura 11.5.14. Segunda etapa de deterioração quando já ocorreram danos importantes na superfície do concreto: a) dano por gelo e degelo, b) remoção do concreto, c) reconstituição de seção e aplicação de selante ou membrana protetora.

Exemplo 3

Danos por reação álcali-agregado em pavimentos ou estruturas de concreto.

a) Características da anomalia a reparar e sua identificação correta na estrutura.

A reação álcali-agregado (RAA) pode causar fissuração severa em estruturas de concreto e pavimentos. Sabe-se que esta reação ocorre quando alguns tipos de agregado, tais como certas formas de sílica, podem reagir com os álcalis do cimento (sódio, potássio, cálcio) formando um gel ao redor dos agregados.

O engenheiro deve considerar que o problema ocorre quando, na presença de umidade, o gel expande-se fissurando o concreto que o cobre. Como no caso de gelo e degelo, à medida que ocorre a fissuração a pequenas profundidades, a umidade vai adentrando e continua sua ação desintegradora a profundidades maiores. A Figura 11.5.15 mostra o mecanismo de desintegração por reação álcali-agregado.

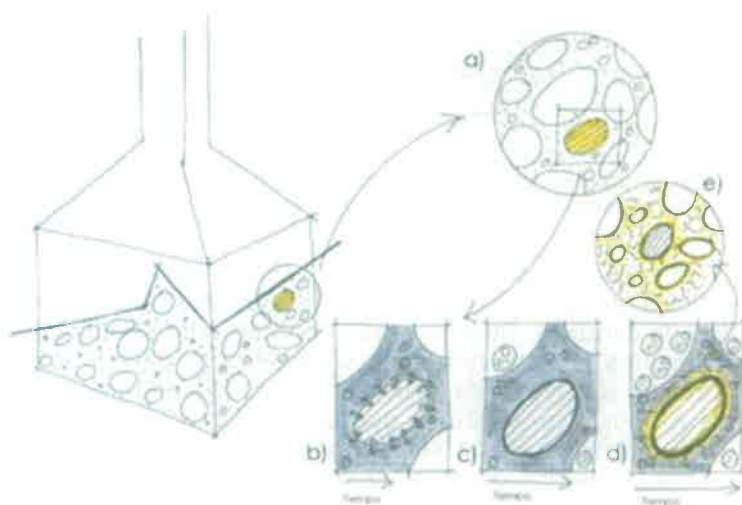



Figura 1 gregado reativo antes do contato com a água, b) contato com a água e expansão inicial do gel, c) aumento de volume, d) fratura devida à expansão do gel, e) desagregação avançada.

Dado que a RAA pode demorar vários anos para manifestar-se, ela pode passar despercebida até que seja muito tarde para executar ações corretivas econômicas.

O engenheiro deverá tomar medidas a tempo para evitar este problema. A mais fácil é a verificação da existência de agregados reativos por petrografia ou outros métodos disponíveis (ASTM 1260). Confirmando-se

isto, deverá ser verificada a umidade ambiente onde o concreto com os agregados reativos está situado, e esta umidade não deverá exceder 80 %. Se o ensaio dá positivo quanto a reatividade e a U.R. é maior que 80 %, deverão ser tomadas medidas corretivas, como indicado a seguir.

a) Metodologia proposta pela empreiteira para fazer o reparo.

Como no caso dos ciclos de gelo e degelo, há duas etapas de intervenção quando há o risco ou presença de reação álcali-agregado. A primeira é quando se detectam os agregados reativos e se têm umidades elevadas. Sob estas condições e dependendo do tipo de estrutura, o melhor é bloquear a fonte de umidade. Isto pode ser feito com hidrofugantes ou pinturas formadoras de película (seladores). O engenheiro tem que fornecer à empreiteira a informação necessária para o uso de um ou outro produto. O mais fácil é medir a umidade interna do material a várias profundidades em épocas críticas do ano e, com base nos resultados, selecionar as regiões da estrutura que terão de ser protegidas. A Figura 11.5.16 mostra um exemplo de como proceder nesta etapa.

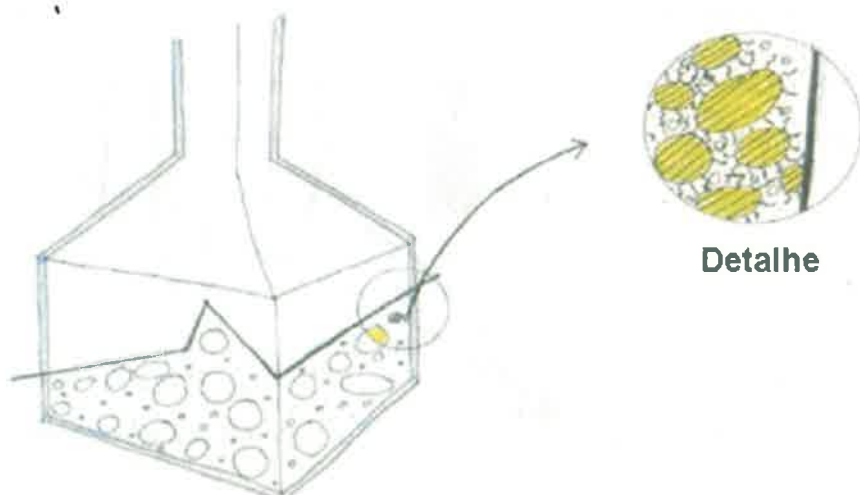



Figura 11.5.16. Ilustra a primeira etapa do dano, devido à presença de agregados reativos e ocorrência de umidade elevada. Nestas condições, o melhor é bloquear a fonte de umidade.

A segunda etapa é quando a RAA manifestou-se por fissuração mapeada (ramificada) no concreto. Nestas circunstâncias, pode haver várias metodologias de intervenção que o engenheiro deverá controlar. Uma delas é fazer a remoção do concreto existente até a profundidade em que se encontre a anomalia. Isto pode ser verificado com testemunhos extraídos que indiquem a profundidade até onde chegam as fissuras. No entanto, retirar este concreto em pavimentos pode ser muito caro. Depois da retirada do concreto danificado, é necessário colocar um concreto novo sem agregados reativos, porém garantindo que o concreto velho não venha a reagir no futuro. Isto somente será conseguido eliminando o acesso de umidade por diversos meios.

Outra possibilidade é a eliminação da umidade com hidrofugantes que impeçam o acesso de mais umidade a regiões profundas. Mas, esta possibilidade somente é válida quando a umidade vem apenas de cima e não do subsolo. No caso mais favorável, se há certeza de que a umidade não voltará a promover a reação, pode-se então proceder ao reparo nas partes onde existem anomalias, que podem ser preenchidas utilizando uma capa de concreto autonivelante, no caso de rodovias, ou um material fluido, no caso de estruturas. A Figura 11.5.17 e a Figura 11.5.18 ilustram estes dois casos. Em qualquer caso, durante o reparo o engenheiro deverá garantir que efetivamente foi eliminado o acesso da umidade à região de reparo, com a verificação durante e após o reparo do teor de umidade no interior da estrutura, à profundidade em que foram detectados os maiores danos. Para o caso da recuperação ou reparo na presença deste tipo de reação, não há método infalível nem solução universal. O engenheiro deverá garantir que o operário faça cada uma das tarefas que lhe foram atribuídas do reparo, supervisionando a execução da obra para que o reparo esteja satisfatório após terminada cada etapa do processo.

A Figura 11.5.18 mostra como é feita a remoção do concreto até a profundidade em que se encontre o dano, e a eliminação da umidade com a aplicação de hidrofugantes.

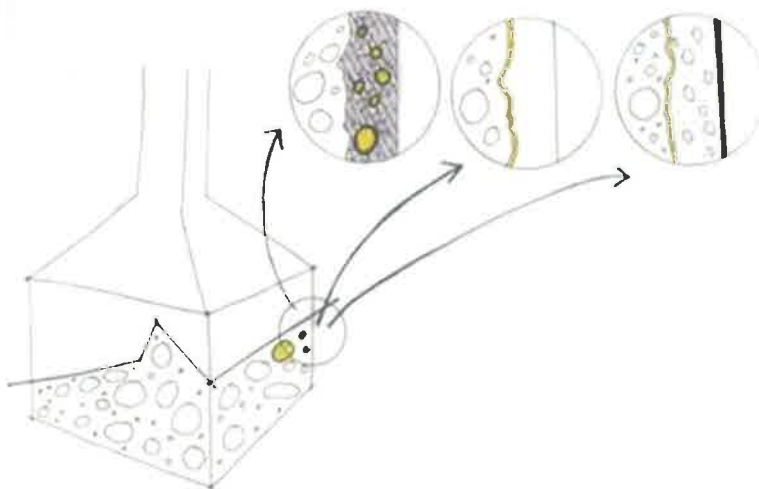



Figura 11.5.17

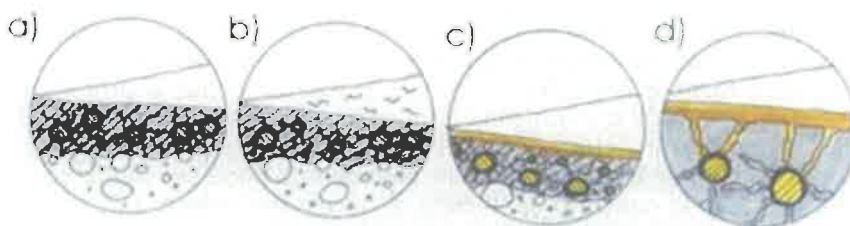



Figura 11.5.18. Utilização de concreto autonivelante no caso de estradas, ou um material fluido, em estruturas.

11.6 Qualidade da segurança durante o reparo

Hoje em dia, a segurança tornou-se item essencial de qualquer projeto de construção civil. De fato, as grandes empresas têm que investir quantias significativas na segurança de seus empregados se, por exemplo, desejarem manter suas certificações ISO.

A cultura da segurança não foi ainda desenvolvida adequadamente para o caso da recuperação estrutural. Isto se deve, em parte, a que cada obra de reparo é diferente em si. Neste item do Capítulo 11, são dadas algumas recomendações de boa prática para o caso de projetos de reparos de médio porte. O avaliador deverá, no âmbito de sua responsabilidade, verificar se durante a execução do reparo estão sendo seguidas as normas vigentes de segurança.

A seguir, como exemplo, apresentam-se os cuidados a seguir no caso da ponte apresentado no item anterior.

Equipamento de proteção individual

O primeiro passo é garantir que os trabalhadores que executarão os reparos sabem nadar. Além disso, eles deverão estar equipados com coletes salva-vidas. Durante a intervenção na ponte, será necessária a utilização de rompedor e outros aparelhos conectados à rede elétrica. Os trabalhadores deverão estar usando EPI (equipamento de proteção individual) para proteção contra descargas elétricas.

Em casos como este, é óbvia a obrigatoriedade da utilização de capacetes, óculos e calçados (botas) de segurança especiais.

A seguir, dão-se algumas indicações de como e em que casos deverão ser empregados os EPI's[1]:

Proteção da cabeça

1. Deverá ser usado capacete de segurança para proteger a cabeça contra:

- Quedas de objetos.

---

[1]N.T.: A importância dos equipamentos de segurança pode ser apreciada neste parágrafo do artigo de Bianca Antunes, na revista Construção Mercado 40 – novembro 2004, editora PINI: "A escolha dos equipamentos faz parte da análise de engenharia e da gestão de segurança. Deve-se, primeiro, avaliar as condições do ambiente - e, se não for possível anular os riscos, parte-se para a escolha dos EPIs e EPCs (equipamentos de proteção coletiva). Todas as especificações devem estar detalhadas no PCMAT (Programa de Condições de Meio Ambiente no Trabalho) - no caso das empreiteiras, no Programa de Prevenção de Riscos Ambientais. Se, durante a fiscalização de meio ambiente e segurança, for constatada a falta de EPI, é aplicada multa em Ufir, dependendo do número de funcionários e do grau de risco".

- Golpes e batidas.
- Projeção violenta de objetos.
- Contatos elétricos.

2. Ajustar convenientemente a suspensão (carneira) do capacete quando estiver realizando os trabalhos.

3. É preciso usar também capuz, touca ou boné para impedir que o cabelo fique preso em mecanismos giratórios, quando for o caso.

Quando vir este sinal, é obrigatório o uso de CAPACETE DE SEGURANÇA:

Proteção dos pés

1. O calçado de segurança com biqueira de aço protege contra:

   - Quedas de objetos.
   - Engastamentos.
   - Golpes no pé.

2. A palmilha reforçada do calçado protege contra:

   - Furos.
   - Cortes.

3. A tornozeleira protege contra:

   - Golpes de objetos.

4. As botas de borracha de cano longo protegem contra:

   - Água.
   - Umidade.

Quando trabalhar com equipamentos elétricos, deverá ser usado calçado isolante sem elementos metálicos. Do mesmo modo, quando as condições de trabalho demandarem, o solado deverá ser antiderrapante.

Quando vir este sinal, o uso de CALÇADO DE SEGURANÇA é obrigatório:

Proteção das mãos

1. As luvas de segurança (de raspa) protegem as mãos, ao manipular materiais e ferramentas, contra:

- Golpes.
- Feridas.
- Cortes.
- Contato com cimento e outros produtos agressivos.

2. Para trabalhos com alguns produtos químicos ou especiais, deverão ser utilizadas luvas de PVC.

3. Para trabalhos com eletricidade, deverão ser utilizadas luvas isolantes.

4. Os trabalhos em instalações elétricas só poderão ser realizados por eletricistas ou especialistas. As ferramentas manuais utilizadas para trabalhos em baixa tensão terão que ter isolamento de segurança.

Quando vir este sinal, o uso de LUVAS DE SEGURANÇA é obrigatório:

Proteção ocular

1. Os óculos e as viseiras de segurança protegem os olhos e a vista contra:

- Projeção de partículas.
- Choques de objetos.
- Radiações.
- Pós.
- Cimento e outros produtos químicos.

2. Os cristais dos óculos deverão ser limpados tantas vezes quanto necessário.

3. Nos trabalhos de solda, os soldadores e especialistas deverão utilizar óculos, máscaras e escudos adequados ao trabalho que vão realizar.

Proteção antiqueda

1. Os cinturões ou arreios de segurança deverão estar ancorados a um elemento resistente, em trabalhos de mais de dois metros de altura e com perigo de queda eventual.

2. O cinturão protege o corpo nos trabalhos em que há possibilidade de quedas de altura, tais como:

- Colocação e desmontagem de equipamentos de proteção coletiva, tais como redes, corrimões, proteção de buracos em solos e paredes, etc.
- Montagem e desmontagem de andaimes, escoras, estruturas metálicas, etc.
- Trabalhos próximos ou junto ao espaço em queda livre, como bordas de lajes e de excavações, buracos, etc.
- Trabalhos em coberturas e telhados.

3. Amarrar o cinturão de segurança a elementos resistentes, de forma a evitar a queda livre.

4. Revisar freqüentemente o talabarte e o mosquetão.

Quando vir este sinal, o uso de CINTURÃO DE SEGURANÇA é obrigatório:

Proteção respiratória

1. Ajustada à boca e ao nariz, a máscara protege o aparelho respiratório contra pós, fumaça, gases e vapores.

2. Para cada um destes casos, deverá ser escolhida a máscara adequada.

3. Trocar o filtro quando a máscara sujar por dentro e não for possível respirar bem.

4. Para trabalhos em locais confinados, onde não há ar respirável suficiente, será preciso utilizar equipamentos semi-autônomos, que fornecem ar fresco através de uma mangueira («ar mandado»), ou autônomos, com ar comprimido em um cilindro.

Quando vir este sinal, o uso MÁSCARA DE PROTEÇÃO RESPIRATÓRIA é obrigatório:

Proteção auditiva

1. Os protetores auditivos ajustados corretamente protegem os ouvidos nos trabalhos com alto nível de ruído.

2. Também protegem os ouvidos contra faíscas, respingos de substâncias quentes ou corrosivas e outras substâncias perigosas.

3. O protetor pode ser de dois tipos:

- Protetor auricular tipo concha.
- Protetor auricular tipo plugue.

Quando vir este sinal, o uso de PROTETORES AUDITIVOS é obrigatório:

USO OBRIGATÓRIO DE PROTETOR AURICULAR

Figura 11.6.1. Exemplo de utilização de equipamento de proteção individual.

Figura 11.6.2. Exemplo de equipamento de proteção individual.

Equipamentos de proteção coletiva

Deverão estar disponíveis um estojo de primeiros socorros e rádios ou telefones celulares para contatar os serviços de emergência, caso necessário.

A obra deverá contar com um serviço médico competente e familiarizado com situações eventuais que possam se apresentar, tais como o contato dos olhos ou da pele com algum aditivo químico sendo utilizado nos reparos.

Quando, como no caso da ponte do exemplo anterior, a intervenção durar vários dias, deverá ser garantido, como parte da segurança, que haja água potável disponível tanto para o consumo quanto para a higiene pessoal. A utilização contínua de água salgada para o banho pode ocasionar problemas sérios na pele.

Os exemplos anteriores são simples, porém muito importantes, e portanto sua observância deverá fazer parte do projeto de recuperação.

Figura 11.6.3. Exemplo de um estojo de primeiros socorros.

11.3.1 Sinalização

Em uma obra de reparo é importante o uso de sinalização para promover a qualidade da segurança, e assim obter um melhor resultado. A seguir, dão-se algumas das sinalizações de uso mais comum[1].

Sinalização de Advertência

Veículos de manutenção

Risco de choque elétrico

Perigo em geral

Risc de tropeçar

Queda (para piso inferior)

Linha aèrea elétrica

---

[1]N.T.: No Brasil, existem no comércio placas de CIPA e segurança fabricadas por empresas de comunicação visual, tais como www.seton.com.br ou www.maxplac.com.br.

Maquinário pesado

Queda de objetos

Andaime incompleto

Sinalização de Socorro.

Direção de socorro

Primeiros socorros

Maca

Telefone de salvamento e primeiros socorros

Direção a seguir

Sinalização de proibição

Proibido estar dentro da zona de descarga

Água não potável

11.7 Critérios de aceitação do reparo

Depois da execução dos reparos, deverão ser verificados os critérios de aceitação. Tais critérios, como no item anterior, seguem procedimentos gerais e particulares. Os procedimentos se resumem no seguinte:

1. Entrega nos prazos previstos e dentro do orçamento original.
2. Utilização correta dos materiais e métodos de reparo propostos.
3. Testes e ensaios para verificar o quesito anterior.

A seguir, descreve-se o desenvolvimento destes critérios para os exemplos do item 11.5. O primeiro procedimento aplica-se a qualquer dos casos em estudo, razão pela qual somente será descrito no primeiro exemplo.

Exemplo 1.

Danos em ponte de concreto armado em ambiente marinho devidos a projeto inadequado e acidentes.

1. Entrega nos prazos previstos e dentro do orçamento original.

Neste caso, um critério de aceitação consiste em verificar se a empreiteira cumpriu os prazos de entrega e se ateve ao orçamento original. Se a empreiteira gastou mais tempo que o previsto e a um custo superior, o engenheiro deverá discutir as causas e, caso sejam justificáveis, aplicar os ajustes financeiros correspondentes.

2. Utilização correta dos materiais e métodos de reparo propostos.

Nesta etapa, o engenheiro deverá fazer uma verificação visual do cumprimento da metodologia proposta pela empreiteira e do emprego dos materiais com os quais se comprometeu a trabalhar. Com esta inspeção, deverá fazer-se e responder às perguntas seguintes:

- Reconstituiu-se a seção do concreto armado adequadamente?
- Aplicou-se de forma uniforme a pintura especificada?

- Ficaram imperfeições que pudessem ocasionar vazamentos? (detalhes)
- Foi feita uma limpeza adequada do local após a recuperação?
- Foram deixadas as goteiras dos drenos?
- Toda a área danificada foi reparada, ou apenas parcialmente?

3. Testes e ensaios para verificar o quesito anterior.

Para aceitar por completo o reparo, deverão ser realizados vários testes que confirmem o cumprimento do método e procedimento escolhidos. A seguir, dão-se alguns exemplos de como fazer a verificação no caso desta ponte.

- **Concreto por trás das barras de aço**. Na metodologia de reparo, foi especificado que a remoção do concreto danificado extender-se-ia até a parte de trás das barras (o entorno da barra), a uma distância de pelo menos 2,5 cm. Para verificar isto, a melhor maneira é com a extração de testemunhos de pequeno diâmetro, em locais aleatórios. Conhecendo-se a profundidade em que se encontram as barras de aço com um pacômetro, fica então fácil verificar no testemunho a profundidade a que chegou o concreto novo. A Figura 11.7.1 mostra um esquema desta situação.

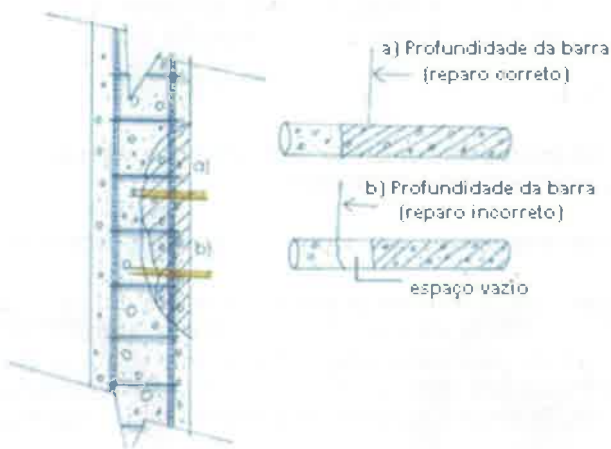



Figura 11.7.1. Verificação do reparo com extração de testemunhos.

- **Limpeza das barras**. O reparo, neste caso, especificava uma limpeza total das barras conforme a norma NACE. Uma vez feito o reparo, é difícil, mas não impossível, verificar se este requisito foi cumprido. Uma possibilidade é pela velocidade de corrosão, que deve diminuir sensivelmente quando a limpeza foi feita corretamente. Deverá estar disponível um corrosímetro confiável para isto, além de que a medição deverá ser cuidadosamente interpretada, pois a nova

alcalinidade do concreto pode ocultar o efeito que se deseja encontrar. A Fig. 11.7.2 mostra um exemplo desta situação.

(a)

(b)

(c)

Figura 11.7.2. Medição com corrosímetro para verificar, como alternativa, a limpeza das barras.

- **Substituição de barras e emendas por traspasse.** O reparo da ponte demandou também a substituição de algumas seções de aço que não passavam na análise conforme o critério estrutural. Uma maneira de verificar se as armaduras foram substituídas é com o uso do pacômetro; assim, pode-se saber se na substituição foi usa do um diâmetro de barra diferente do especificado, ou se o comprimento de traspasse usado foi o correto. Este aparelho per mite medir também a profundidade das barras, além de seu diâmetro. A Figura 11.7.3 mostra um exemplo desta situação.

Figura 11.7.3. Uso do pacômetro para verificar emendas por traspasse e substituição de barras.

- **Concreto ou argamassa de qualidade especificada.** Para casos como o desta obra de recuperação, costuma-se especificar um concreto ou argamassa especial diferente dos de cimento Portland e que resista à ação do ambiente marinho (sulfatos, etc). Uma maneira de verificar se o concreto é o que foi especificado é pela tomada de amostras, que podem ser extraídas do testemunho que serviu para verificar se o concreto chegou até por detrás das barras, e enviar tais amostras para análise de difração de raios-X, onde se pode detectar os compostos desejáveis e indesejáveis. A Figura 11.7.4 mostra um exemplo desta situação.

Figura 11.7.4. Verificação da qualidade de uma argamassa especificada por análise de difração de raios-X.

- **Pintura de qualidade especificada no concreto.** O reparo nesta situação em geral exige uma pintura superficial do concreto com uma película ou um hidrofugante. Assim, existem vários produtos econômicos cujas propriedades são muito diferentes, porém com similaridades de aparência. Neste caso, deverá ser verificada a resistividade do material por medições com o resistômetro. Valores muito elevados dão uma grande confiabilidade na película, enquanto valores mais pequenos podem dever-se a imperfeições ou a que a película não é da qualidade e impermeabilidade requeridas. A Figura 11.7.5 mostra um exemplo desta situação.

Figura 11.7.5. Verificação da qualidade da película (resistividade) pelo método das quatro pontas.

Exemplo 2

Danos por gelo e degelo em rodovias ou pontes.

1. Utilização correta dos materiais e métodos de reparo propostos.

O dano por gelo e degelo pode ser grave. Quando existem condições para que ocorra o dano deverá ser aplicado um selador (impermeabilizante) ou

revestimento (argamassado). Nesta etapa, o engenheiro deverá fazer uma inspeção visual procurando detectar o seguinte:

- Foi aplicado corretamente o impermeabilizante ou revestimento?
- Existem imperfeições superficiais?
- Foi tomado cuidado para não deixar excessos de pintura alterando os Caimentos ou diferenças de nível?
- A aparência do sistema é a desejada?
- Existem defeitos tipo bolhas no sistema?
- Etc.

Quando a intervenção requereu a remoção do concreto, é difícil verificar por inspeção visual se foram cumpridos os requisitos do programa estabelecido.

Do resultado da observação visual, poderão ser tomadas ações mais concretas para poder aceitar o reparo.

2. Testes e ensaios para verificar o quesito anterior.

Após a inspeção visual, independentemente de que o reparo tenha sido feito antes de um dano evidente ou depois de um dano grave, inclusive com lascamentos, deverá ser verificado se a metodologia de intervenção foi correta. A seguir, descrevem-se brevemente algumas das verificações que o engenheiro deverá realizar antes de aceitar o reparo.

- **Remoção de concreto danificado**. Isto pode ser verificado pela extração de testemunhos em locais escolhidos aleatoriamente. Com testemunhos pode-se verificar a profundidade de remoção do concreto para saber se foi atingida a profundidade de remoção especificada. Da mesma forma, os testemunhos podem ajudar a verificar se o concreto utilizado é o que foi especificado. Para isto, devem ser enviadas amostras para análise de DRX (difração de raios-X) e possível verificação dos componentes requeridos. Os testemunhos podem servir para outros testes, como o de permeabilidade à água e ao ar. Também pode ser analizada, com eles, a espessura de cobrimento protetor. A Figura 11.7.6 mostra um exemplo destas situações.

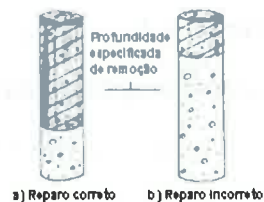
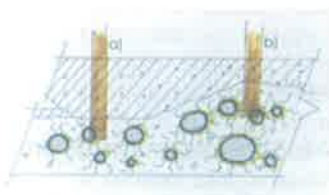



Figura 11.7.6. Verificação por testemunhos da profundidade de remoção de concreto para o reparo.

- **Espessura da película ou revestimento**. Existem aparelhos pequenos, portáteis e econômicos na forma de uma esferográfica, que permiten de terminar as espessuras das pinturas ou revestimentos, porém também podem ser tomadas amostras aleatórias das películas de pintura para análise em microscópio óptico. Com estas práticas, pode-se saber se a espessura recomen dada foi obtida. A Figura 11.7.7 mostra um exemplo desta situação.

Figura 11.7.7. Verificação com dispositivo tipo lápis da espessura da película.

- **Variações nos caimentos e diferenças de nível.** Quando se executa um reparo, deve-se ter o cuidado de observar os desníveis e caimentos em tetos ou pavimentos. O engenheiro, usando níveis de mão, deverá verificar se foram cumpridos os requisitos respectivos. Ainda assim, mesmo que os caimentos tenham sido respeitados, a existência de restos de pintura pode ocasionar efeitos adversos no reparo, como no caso dos defeitos de pintura. A Figura 11.7.8 mostra um exemplo desta situação.

Figura 11.7.8. Defeito de membrana ocasionando acúmulo de água.

Exemplo 3

Danos por reação álcali-agregado em pavimentos ou estruturas de concreto.

1. Utilização correta dos materiais e métodos de reparo propostos.

Não é simples propor sistemas de reparo para os casos em que existe reação álcali-agregado, e pode haver mais de uma alternativa de solução.

Nesta etapa, o engenheiro, para aceitar o reparo, deverá fazer uma inspeção visual que permita perceber se foi aplicada uma membrana impermeabilizante ou um hidrofugante. Será necessário recorrer a testes mais sofisticados para verificar se foi cumprido o objetivo do reparo.

2. Testes e ensaios para verificar o quesito anterior.

Quando a intervenção requereu a remoção do concreto, podem ser seguidas as recomendações do exemplo 2 para verificar com testemunhos as profundidades de remoção. Neste caso, os testemunhos servem também para verificar o grau de dano potencial que pode ter havido no concreto existente (velho). Isto é feito por petrografia, como no caso em que foi detectado o dano pela primeira vez. A Fig. 11.7.9 mostra um exemplo de reparos adequados e inadequados quando existe reação álcali-agregado.

Figura 11.7.9. Verificação por testemunho da remoção de produtos danificados por reação álcali-agregado.

A eliminação da umidade tem que ser outro requisito a verificar para que o reparo funcione e o gel não se expanda. Para isto, o engenheiro pode colocar sensores de temperatura e umidade na profundidade do concreto existente e verificar durante um período razoável se os valores estão abaixo de 80 %. Este também é um critério para saber se, a longo prazo, o reparo cumprirá sua finalidade, como se verá no item seguinte deste capítulo. A Fig. 11.7.10 mostra um exemplo desta situação.

a) Reparo correto b) Reparo incorreto

Figura 11.7.10. Verificação com sonda da umidade relativa na região reparada.

11.8 Critérios de Desempenho do reparo

11.8.1 Verificação do desempenho dos drenos

Aparição de fungos

Figura 11.8.1. Mostra a ocorrência de fungos na ponte.

Os fungos aparecem no concreto devido à presença contínua de umidade. O reparo da ponte deste exemplo foi motivado pelos danos causados por uma drenagem inadequada, e que se manifestaram inicialmente com a presença de fungos. A identificação destes é visual e se caracteriza por deixar o concreto escuro nas partes onde há excessivo e contínuo acúmulo de água. A Figura 11.8.1 mostra o exemplo da ponte quando estava afetada por fungos antes dos reparos. Depois do reparo, o surgimento de fungos significaria que houve falha durante a execução do mesmo.

Empoçamentos

Quando o reparo de uma laje, como no caso da ponte, tem defeitos de acabamento, podem surgir empoçamentos localizados que ocasionarão problemas de umedecimento e secagem em regiões com armadura próxima, favorecendo assim a corrosão destas armaduras. Os empoçamentos por defeitos podem aparecer também em conseqüência do uso da laje ou da ação de cargas acidentais, como por exemplo por choques de veículos, etc. A Figura 11.8.2 mostra um exemplo hipotético de empoçamento por defeito na região de reparo.

Figura 11.8.2. Exemplo hipotético de empoçamento em regiões críticas do reparo.

Taludes (rampas)

Uma rampa inadequada pode favorecer empoçamentos em locais críticos do reparo, por exemplo nas juntas de concreto velho com concreto novo. Parte da verificação da funcionalidade do reparo é feita com relação à inclinação das rampas. Quando as rampas são muito pequenas, mesmo passando na inspeção durante a recepção do reparo, elas podem estar expostas a volumes de líquidos que ultrapassam sua capacidade de drenagem. Com o passar do tempo, pode-se reconhecer uma rampa insuficiente pela aparição de fungos em algumas partes do concreto. A Figura 11.8.3 mostra um exemplo hipotético de rampa que deixou de ser funcional quando o elemento mudou de função, ou quando o clima a exigiu além do normal.

Figura 11.8.3. Exemplo hipotético de reparo adequado de rampa cuja funcionalidade tinha sido afetada por variações climáticas.

Drenos

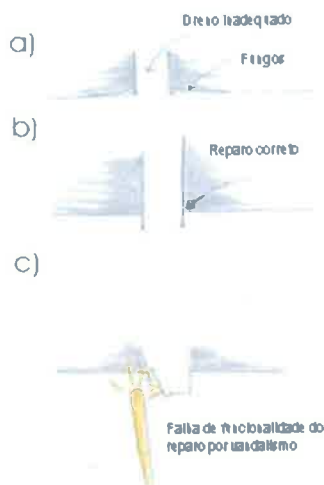



Figura 11.8.4. Perda de desempenho do reparo de um dreno devida a vandalismo.

Uma das causas de deterioração no exemplo da ponte foi a colocação inadequada dos drenos de PVC. Mesmo tendo corrigido esta situação, com o passar do tempo a parte saliente dos drenos novos pode deteriorar-se por efeito de vandalismo, da má instalação ou mesmo das vibrações da ponte. As manifestações visuais de degradação são a lixiviação do concreto, a aparição de fungos e os danos físicos aparentes da lixiviação. A Figura 11.8.4 mostra um exemplo desta situação.

11.8.2 Presença de fissuras

Na interface entre o concreto velho e o novo

Quando não são seguidos métodos apropriados para unir o concreto novo ao concreto velho, costuma haver problemas de aderência, que se manifestam com movimentos entre os elementos, resultando em fissuração. Um elemento reparado que sofreu fissuração deste tipo tem queda de desempenho, como no caso da ponte do exemplo, em que uma fissuração com estas características pode fazer com que o sistema de proteção catódica deixe de proteger áreas pontuais. Na figura 11.8.5 é mostrada uma situação hipotética em que ocorrem fissuras próximo à armadura, quando falha a interface entre o concreto novo e o concreto velho.

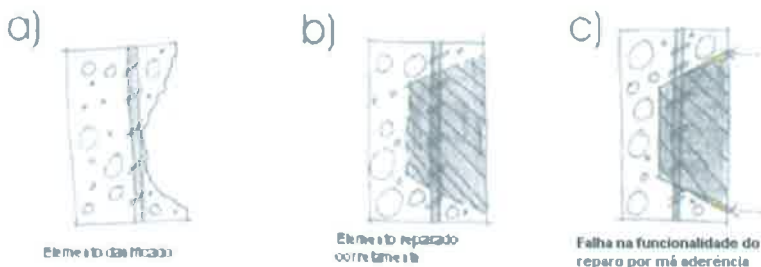



Figura 11.8.5. Perda de desempenho do reparo por fissuração na união do concreto novo com o concreto velho.

Por retração

As fissuras de retração podem afetar a funcionalidade do reparo, independentemente de este dispor de um sistema de proteção catódica, como no caso da ponte. Dependendo da intensidade da retração, pode ser favorecido o ingresso de agentes agressivos ou a diminuição da eficácia da proteção catódica.

A Figura 11.8.6 mostra uma situação hipotética em que a fissuração por retração influi na funcionalidade do reparo.

Figura 11.8.6. Perda de desempenho do reparo devida à ocorrência de retração no concreto novo.

Por carregamento

Quando a estrutura em que foi executada a intervenção sofre mudança de uso que não foi considerada no projeto de reparo, é provável que surjam defeitos tanto nas interfaces quanto nas regiões de cortante, que podem levar à falha do reparo em tempo menor que a vida útil prevista, ou simplemente diminui-la do ponto de vista estético. A Figura 11.8.7 mostra um exemplo hipotético desta situação.

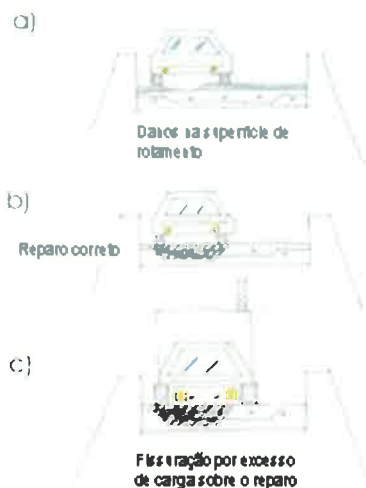



Figura 11.8.7. Perda de desempenho do reparo ao ocorrer mudança de uso da região reparada.

Por corrosão

Quando a estrutura foi reparada devido a problemas de corrosão no concreto armado, há ocasiões em que uma intervenção inadequada provoca a aparição de novos problemas por corrosão remanescente, surgindo nova fissuração, geralmente ao longo da armadura, mas a interface entre o concreto novo e o velho também pode ser afetada. A Figura 11.8.8 mostra um exemplo hipotético desta situação.

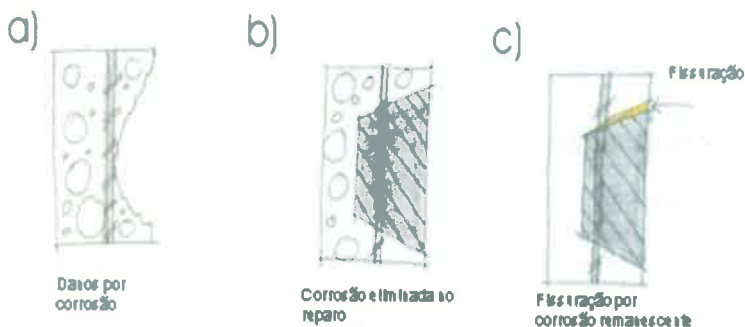



Figura 11.8.8. Perda de desempenho do reparo proporcionada por uma intervenção inadequada.

11.8.3 Critério estrutural

Prova de carga

Durante sua vida útil, um reparo deve ficar integrado à estrutura e

suportar em conjunto com ela os esforços de rotineiros. Deve ser lembrado, porém, que na maioria das vezes uma estrutura é superdimensionada, e assim não deveria ser esperado que estes valores sejam superados em algum momento. Por este motivo, deverão ser programadas provas de carga durante a vida útil do reparo que se aproximem dos valores de projeto, a fim de se verificar se realmente o reparo se encontra totalmente integrado à estrutura.

Durante a aplicação destas provas a estrutura reparada deverá manter-se íntegra em sua totalidade, como parte de sua funcionalidade ou desempenho. A Figura 11.8.9 mostra um exemplo de prova de carga para o caso da ponte do exemplo.

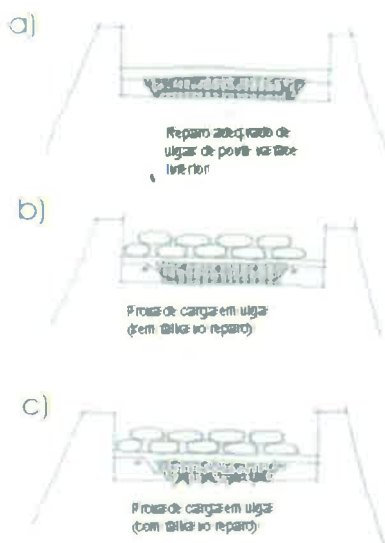



Figura 11.8.9. Perda de desempenho do reparo por excesso de cargas.

11.8.4 Critério químico

Teor de cloretos

No caso da ponte do exemplo, situada em ambiente tropical marinho, é óbvio que pode haver a importante presença de cloretos no reparo. Para verificar o desempenho da ponte durante sua vida útil em termos de um ataque químico por cloretos, deverão ser programadas algumas sondagens todo ano, com as quais, com um perfil de cloretos, seja possível monitorar o grau de ataque e neste caso programar ações corretivas ou de manutenção. Um reparo, como a da ponte, perderá funcionalidade quando o teor de cloretos no nível da armadura superar o limite crítico para a ocorrência de corrosão. A Figura 11.8.10 exemplifica uma amostragem de cloretos na ponte analisada. Naquela figura verifica-se um teor elevado de cloretos antes do reparo e uma diminuição considerável após este. Observa-se, entretanto, que após dois anos o nível de cloretos

na região reparada afetará novamente a região de reparo. O engenheiro deverá tomar medidas corretivas desde o primeiro ano e deverá tornar efetiva a garantia da empreiteira, porque é intolerável ter este grau de ataque em um reparo com apenas dois anos de serviço.

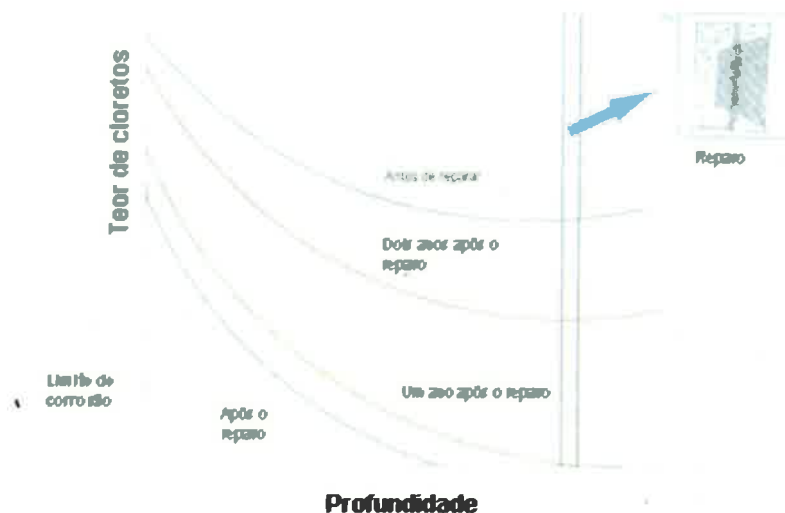



Figura 11.8.10. Verificação do desempenho do reparo pela medição de perfis de concentração de cloretos.

Carbonatação

Mesmo em ambientes marinhos ocorre a carbonatação do concreto quando este é muito poroso e de baixa qualidade. Depois do reparo e como no caso dos cloretos, deverão ser programadas inspeções anuais que permitam verificar o alcance da carbonatação no concreto reparado. O reparo perderá em desempenho se a frente de carbonatação atingir a armadura antes de poder executar ações corretivas ou de manutenção. A Figura 11.8.11 mostra um caso hipotético em que a frente de carbonatação quase alcançou a armadura. Naquela figura, o item (a) mostra com clareza o avanço da carbonatação existente na entrega do reparo. Como é óbvio, a parte não reparada apresenta uma frente maior que a reparada. Porém, depois de um curto tempo da entrega do reparo, a frente de carbonatação praticamente alcançou a armadura, tanto na região reparada quanto na não reparada. O engenheiro poderá suspeitar de duas causas básicas para que isto ocorra: a primeira é que o reparo, mesmo feito corretamente, não abrangeu uma área maior que também estava carbonatada, e segundo, que o concreto colocado na cavidade de reparo não era de boa qualidade e portanto a carbonatação avançou rapidamente.

Figura 11.8.11. Perda de desempenho do reparo por carbonatação do concreto.

11.8.5 Critério eletroquímico (Desempenho do sistema de proteção)

Resistividade do concreto

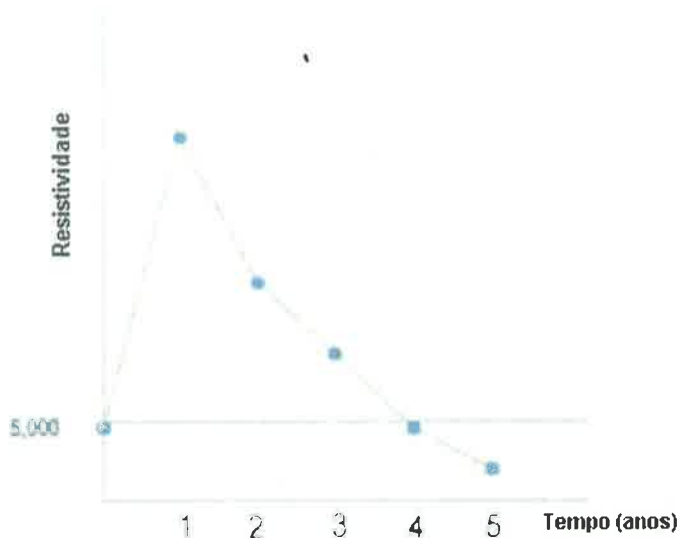



Figura 11.8.12. Perda de desempenho do reparo detectada pela resistividade do concreto.

Em reparos realizados em ambiente marinho, uma resistividade elevada do concreto é sinônimo de bom desempenho do reparo. A resistividade é uma técnica que nos informa indiretamente a porosidade do concreto e portanto sua susceptibilidade ao ingresso de agentes agressivos. Resistividades menores que 5.000 &!-cm são indicativas de uma perda de desempenho do reparo. Todo ano deverão ser programadas medições de resistividade e observar sua evolução com o tempo para poder, caso necessário, tomar ações corretivas ou de manutenção quando for necessário. A Figura 11.8.12 mostra o registro de medições de resistividade que seriam obtidas no caso da ponte. A resistividade para o tempo zero é muito baixa, indicativa de corrosão. Imediatamente a seguir, a resistividade aumenta por causa do reparo, porém em anos posteriores

a resistividade baixa perigosamente. O engenheiro deverá tomar as ações preventivas quando verificar a tendência das medidas. O caso do exemplo da figura significaria, como no caso anterior, uma perda de funcionalidade atribuível a algum defeito no reparo.

Potencial de corrosão da armadura

Como já foi mencionado em outras partes deste Manual, o potencial de corrosão é uma técnica que permite conhecer a probabilidade de que a armadura esteja sofrendo corrosão do ponto de vista termodinâmico. Em ambientes marinhos, como no caso da ponte do exemplo, é necessário que como parte da manutenção seja verificada a evolução do potencial de corrosão durante sua vida útil, em intervalos não superiores a um ano. O potencial de corrosão permite identificar as partes de um reparo com maior risco de corrosão e programar as respectivas ações corretivas ou de manutenção quando forem necessárias. Valores de potencial menores que – 350 mV para eletrodo de cobre/sulfato de cobre indicam uma perda de desempenho do reparo do ponto de vista da corrosão. A Figura 11.5.13 mostra um gráfico da evolução de potenciais para avaliar à funcionalidade de um reparo com o passar do tempo. Como no caso anterior, o potencial de corrosão é muito negativo antes do reparo, e imediatamente após este recupera-se consideravelmente. Nesta situação duas tendências se apresentam, a primeira mostrando o comportamento desejável de potencial, e a segunda mostrando um comportamento que indicaria a necessidade de exercer ações imediatas para corrigir a falha de funcionalidade. Neste caso, o engenheiro pode suspeitar que o reparo não foi feito corretamente e provocou defeitos que estimularam de novo o processo de corrosão. Para os casos de falha fora da garantia, o engenheiro deverá acionar o seguro da empreiteira.

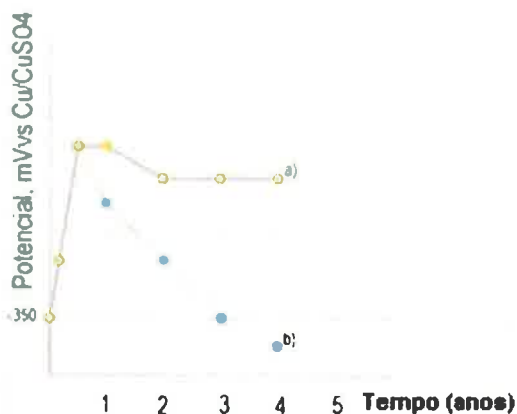



Figura 11.8.13. Perda de desempenho do reparo detectada pelo potencial de corrosão.

Velocidade de corrosão do aço

A velocidade de corrosão é uma técnica que permite, cineticamente, conhecer a corrosão da armadura do ponto de vista quantitativo. A cada ano, pelo menos, deverá ser verificada a velocidade de corrosão da estrutura reparada com o objetivo de programar ações corretivas ou de manutenção, quando seu valor indicar despassivação (valores maiores que 0,2 μA/cm²). Um reparo em que o aço está a ponto de se despassivar terá perda de desempenho. A Figura 11.8.14 mostra um exemplo típico do registro de velocidades de corrosão para casos similares ao exemplo da ponte. Como nos casos de resistividade e potência, a velocidade de corrosão pode, com o tempo, aumentar e ocasionar uma perda de desempenho. O engenheiro deverá tomar medidas corretivas quando observar que o comportamento da velocidade de corrosão segue a trajetória b) em vez da trajetória a).

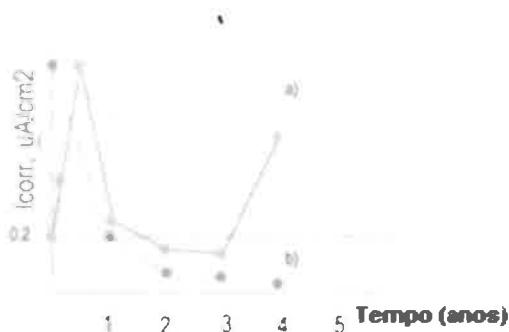



Figura 11.8.14. Perda de desempenho do reparo detectada pela velocidade de corrosão.

Os resultados de ensaios eletroquímicos deverão ser analisados em conjunto para dar um diagnóstico correto sobre o desempenho do reparo, porque, sob determinadas circunstâncias, se usados isoladamente poderão levar a diagnósticos errados.

11.8.6 Supervisão do plano de manutenção

Acompanhamento no escritório do plano de manutenção (Datas e ações estipuladas)

Depois da recepção das obras de reparo, deverá ser preparado um plano de manutenção cujo acompanhamento durante os primeiros anos de vida da intervenção será fundamental para avaliar se esta cumpre suas funções e para, caso necessário, sugerir ações corretivas ou de manutenção. A não existência ou o não acompanhamento do plano de manutenção afeta indiretamente o desempenho do reparo, pois não existindo um registro do acompanhamento e não sendo feita a

manutenção, informação valiosa será perdida e existirá o risco latente de falhas no reparo, que não poderão ser registradas, enquanto não se tornarem evidentes.

Acompanhamento em campo do plano de manutenção

As Figuras 11.8.15 a 11.8.17 mostram um formato no qual se exemplificam os resultados das medições (hipotéticas) feitas em um reparo, como o da ponte, durante sua vida útil. Nestas figuras podem ser observadas com clareza as recomendações do engenheiro quando a estrutura começar a perder desempenho devido a problemas de corrosão.

11.8.7 Ações corretivas do reparo

Há ocasiões em que um reparo não funciona bem por diferentes causas atribuíveis a uma má concepção, uso de materiais inadequados, falta de supervisão ou métodos inadequados para realizá-la. O acompanhamento, tanto no escritório quanto no campo, do plano de manutenção permite detectar estas falhas e propor ações corretivas. A proposta de ações corretivas deverá ser feita em tempo, ou seja, assim que forem detectadas falhas, e por nenhum motivo deixar que o reparo se deteriore extendendo o período de propagação da degradação. As ações corretivas vão desde a eliminação de fatores que estejam causando a degradação do reparo (umidade, correntes, falta de eletrólito, etc.) até situações parciais ou totais.

11.8.8 Verificação da vida útil residual

O acompanhamento do plano de manutenção, tanto em obra como no escritório, deverá considerar métodos simples de predição da vida útil residual da estrutura reparada em função do comportamento verificado ao longo do tempo e dos problemas que se possam apresentar. Casos simples como o acompanhamento da perda de seção da armadura em um reparo importante, podem ser realizados com pacômetros sensíveis ao diâmetro das barras. Naturalmente isto é mais fácil de realizar em locais onde o problema seja carbonatação e não a presença de cloretos, em nos casos em que as condições de medição o permitam. De qualquer forma, o projetista da recuperação pode propor modelos e equações simples para a predição da vida útil residual, e o usuário ou encarregado da manutenção deverá ir verificando se o modelo ou equações são válidos para as condições de exposição e ataque.

Este capítulo foi preparado com base em conhecimentos empíricos e científicos desenvolvidos por especialistas em reparos do mundo inteiro. Os resultados que podem ser obtidos da aplicação dos conhecimentos aqui descritos podem variar significativamente dependendo de muitos fatores, entre os quais poderiam ser citados:

- Agressiviade do meio
- Usos e costumes da região

- Tipo e qualidade dos materiais
- Competência profissional dos operários, projetistas e pessoal envolvido com o reparo, etc.

CENTRO DE PESQUISAS E ESTUDOS AVANÇADOS DO IPN.

MODELO PARA VERIFICAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM REPARO

a) Informações gerais

Lugar (localização): Progreso, Yucatán, México.

Estrutura: Ponte de Yucalpetén.

Tipo de recuperação: Reparo temporário localizado até a obtenção de fundos para aplicar um sistema definitivo.

Data do reparo: 2 maio 2002.

Data da recepção do reparo: 1 junho 2001.

Idade do reparo: 1 ano.

Ambiente tropical marinho, atmosfera agressiva.

Foto antes da recuperação

Observações Gerais: Desprendimentos causados por umidade.

Após a recuperação

Observações gerais: Reparo com pouca supervisão, sem registro fotográfico do procedimento.

Figura 11.8.15

b) Plano de acompanhamento (especificações)

1) Ensaio de carbonatação

a. Verificar a profundidade de carbonatação a cada 6 meses com fenolftaleína ou timolftaleína.

b. Se durante o primeiro ano da recuperação o avanço é maior que 10 mm, deverá ser refeito o plano de acompanhamento e especificadas novas ações de conservação.

2) Ensaio de teor de cloretos

a. Deverão ser feitos perfis de cloretos em regiões selecionadas do reparo, a cada ano. Se o limite crítico de projeto para a ocorrência de corrosão tender a ser ultrapassado durante o período de garantia da recuperação, deverá ser refeito o plano de acompanhamento da funcionalidade do reparo.

b. Quando houver uma tendência anual para valores de concentração perigosos, deverão ser empreendidas novas ações corretivas mesmo que não tenha sido ultrapassado o limite crítico.

3) Resistividade elétrica do concreto

a. Se a recuperação foi feita com concreto, deverá ser verificada a cada seis meses a resistividade do concreto do reparo. Se esta for menor que 5.000 kW.cm, ou se aproximar deste valor durante as medições, deverão ser empreendidas novas ações de conservação, após analizar os resultados dos ensaios anteriores.

b. Se a recuperação foi feita com outros materiais, deverá ser fixado um critério mínimo de funcionalidade.

4) Potencial de corrosão do aço nas regiões reparadas e adjacentes

a. Deverão ser verificados os potenciais de corrosão a cada seis meses nas regiões reparadas e adjacentes, para detectar possíveis ações galvânicas do reparo.

b. Se o potencial mostra tendência para valores menores que –350 mV utilizando $Cu/CuSO_4$ deverá ser refeito o esquema de acompanhamento da funcionalidade do reparo e planejar possíveis ações corretivas.

5) Velocidade de corrosão do aço nas regiões reparadas e adjacentes

a. Deverão ser verificadas as velocidades de corrosão a cada seis meses nas regiões reparadas e adjacentes, para detectar possíveis despassivações ou efeitos galvânicos.

b. Se a velocidade de corrosão supera ou tende a superar em medições sucessivas o valor limte (0,1 mA/cm^2), deverá ser refeito o acompanhamento da funcionalidade do reparo e planejar novas ações corretivas. Este teste junto com os anteriores constituem critérios de normas do engenheiro especialista.

6) Fissuração no concreto

Deverá ser feito um acompanhamento trimestral da fissuração, principalmente nas

a. interfaces do reparo.

b. As fissuras de retração deverão ser reparadas assim que aparecerem com pasta de de cal.

c. Para outros tipos de fissura deverá ser feita a consulta a um calculista para verificar se são conseqüência do reparo.

d. Em função dos resultados, com o tempo deverão ser planejadas novas ações preventivas e/ou corretivas.

7) Variações de nível

a. É possível detectar variações de nível devidas a reparos defeituosos que ocasionem umidade e eventual degradação do reparo.

b. É possível detectar variações de uso que permitam infiltrações e problemas de nível que também gerem degradação.

c. Em ambos casos deverão ser feitas avaliações trimestrais e, no caso de serem observadas anomalias por causa do reparo ou da estrutura em si, deverão ser executadas ações preventivas oportunas.

Figura 11.8.16

c) Medições:

Medições	Data 3-05-2001	Data 3-11-2001	Data 3-05-2002	Data 3-08-2002	Data 3-11-2002	Observações
Carbonatação (mm)	0	3	10	14	17	Carbonatação rápida, risco de chegar próximo ao aço.
Cloretos (nível das barras) (% por peso de cimento)	0,1	0,3	0,7	0,8	1,0	Requer intervenção quando o limite é excedido.
Resistividade (k-cm)	8.000	7.000	5.000	3.000	3.000	Resistividade muito baixa. Muita condutividade em zona de vapor, nível perigoso.
Fissuras (mm)	0	0	0,3	0,5	0,8	Nível inaceitável de fissuração.
Variações de nível (%) inicial 3 %	3	3	5	5	5	Variação de nível devida ao aumento de tráfego e empoçamento em regiões críticas.
Potencial de corrosão (mV vs. $Cu/CuSO_4$)	-200	-220	-350	-375	-380	Potencial ativo, perigo iminente de falha no reparo.
Velocidade de corrosão (□A/cm²)	0,01	0,07	0,2	0,3	0,35	Velocidade de corrosão ativa, intervenção imediata.

Figura 11.8.17

Observações gerais: Ao fim de 2,5 anos do reparo, verificou-se a necessidade de uma nova intervenção, e isto deveria ter sido feito no início do 2º ano como medida preventiva, ao observar-se a tendência de degradação. Infelizmente, a falta de experiência e de orçamento ocasionaram perda de tempo, e o problema avançou, como demonstram os dados. Recomendar-se-ia uma inspeção complementar e o reparo da estrutura com um sistema diferente de proteção para garantia de maior durabilidade.

Bibliografia

Para a realização do Capítulo XI foi utilizada importante informação, que pode ser consultada na bibliografia seguinte:

Livros consultados

Emmons, P. H., Concrete repair and maintenance illustrated: problem analysis, repair strategy, techniques, R. S. Means, Copyright, Kingston, 1994, 295 p.

Helene, Paulo R. L., Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C., México, 1997 (ISBN- 968-464-005-6), 148 p.

Castro P. Et all, Corrosión en estructuras de concreto armado. Teoría, inspección, diagnóstico, vida útil y reparaciones, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C., México, Segunda edición (ISBN-968-464-096-X), 2001, 126 p.

Fernández M., Patología y terapéutica del hormigón armado, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, Colección Escuelas, Tercera edición, 1994, 487 p.

Castro P. Et all, Infraestructura de Concreto Armado, Deterioro y opciones de preservación, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A. C., México, Primera edición (ISBN-968-464-098-6), 2001, 198 p.

Troconis O., et all, Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología, España, Primera edición (ISBN-980-296-541-3), 1997, 208 p.

Guias técnicos, normas e regulamentos consultados

Toman R., et all, Guideline 03732, Selecting and specifying concrete surface preparation for sealers, coatings, and polymer overlays, International Concrete Repair Institute, January 1997, 41 p.

Emmons, P. H., et all, Guideline 03733, Guide for selecting and specifying materials for repair of concrete surfaces, Internatinal Concrete Repair Institute, January 1996, 34 p.

Concrete International, Selecting durable repair materials-performance criteria, Vol. 22, No. 11, 2000, 72 p.

Teses consultadas

P. Castro, Difusión y corosión por iones cloruro, Tesis de Doctorado de la Facultad de Química de la UNAM, México, DF, 1995, 170 p.

Figueiredo, E. J. P., Evaluación del desempeño de revestimientos para protección de armaduras contra la corrosión, a través de técnicas electroquímicas, Tesis de Doctorado de la Universidad de Sao Paolo, Sao Paolo Brasil, 1994, 430 p.

CAPÍTULO 12

Glossário

CAPÍTULO 12

Glossário

Autores
Pedro Castro

M. Fernanda Pereira C.

ADVERTÊNCIA

Este glossário contém termos gerais relacionados com a deterioração e a recuperação das estruturas de **concreto**.

O original em espanhol foi elaborado com base no livro «Corrosión en Estructuras de Concreto Armado» (Corrosão de Estruturas de Concreto Armado), de autoria de Pedro Castro *et al*, publicado por IMCYC, com a autorização dos autores. Foram também adicionados termos relacionados ao conteúdo do presente Manual.

O glossário apresentado é o resultado de um primeiro esforço, grande e trabalhoso, porém modesto quanto a seu aspecto lingüístico.

Esta edição brasileira é apenas uma tradução literal do glossário em espanhol.

Aço: Ligas ferro-carbono com teor máximo de carbono de 2 %, aproximadamente. O carbono confere ao ferro um aprimoramento de suas propriedades mecânicas, necessário para aplicações industriais.

Ativo: Termo que se refere a um estado dos materiais metálicos em que estes tendem a corroer-se, ou a metais ou ligas que se situam no extremo de potenciais mais negativos das séries eletroquímicas ou galvânicas, e são muito corrosíveis.

Atividade: Função termodinâmica que expressa a capacidade de reação de uma substância, $a_i = \exp(\Delta G/RT)$, onde ΔG é o aumento de energia livre de um mol de i na reação, T a temperatura absoluta e R a constante dos gases perfeitos.

Aquoso: Refere-se a meios que contêm água, nos quais esta atua como eletrólito ou condutor iônico de corrente elétrica.

Aderência: Força de união entre um revestimento qualquer e o substrato, metálico ou de outro tipo.

Aditivo: Substância que se adiciona em pequenas proporções a um meio para provocar uma mudança vantajosa em algumas de suas propriedades.

Agente agressivo: Componente do meio ambiente ao qual atribui-se a ação corrosiva sobre o material metálico.

Aeração diferencial: Heterogeneidades de concentração de oxigênio ou ar sobre zonas adjacentes de um metal, gerando diferenças de potencial entre elas e resultando pilhas de corrosão de aeração diferencial.

Empolamento: Bolhas formadas por perda de aderência entre um revestimento e o substrato, ou sobre a superfície de metais dúteis por causa das pressões geradas por gases intersticiais. É freqüente o empolamento por hidrogênio.

Anaeróbico: Diz-se do meio isento de ar ou oxigênio livre (não combinado).

Ânion: Íon com carga ou cargas negativas, que migra para o anodo das células eletroquímicas ou eletrolíticas.

Anodo[1]: Eletrodo das pilhas eletroquímicas ou eletrolíticas onde se produz a oxidação de alguma substância. Nos fenômenos de corrosão, que comumente desenvolvem-se sobre eletrodos mistos, os anodos constituem as zonas de maior tendência a dissolver-se, nas quais os átomos metálicos se oxidam em cátions: $M \rightarrow M^{n+} + ne^-$. Dos anodos flui a corrente elétrica positiva para o meio eletrolítico (transferência de cátions para a solução, ou de ânions da solução para o eletrodo).

---

[1] N.T.: A grafia **anodo**, e não **ânodo**, será usada neste livro, porque embora os dicionários recomendem a forma proparoxítona, a literatura técnica brasileira sobre proteção catódica praticamente só usa a forma **anodo**.

Anodo de sacrifício: Uma massa de metal muito eletronegativa, como o alumínio, magnésio ou zinco, que é conectada à estrutura que será protegida pelo método da proteção catódica, e que forma com a estrutura um par galvânico, deslocando seu potencial no sentido negativo até a zona de imunidade.

B

Bloco sobre estaca: é o bloco que une a estaca ao pilar ou as estacas entre si e o conjunto ao pilar. Também conhecido como bloco de coroamento.

C

Capa passivante: Películas invisíveis, de dezenas de angstroms, de óxidos, oxigênio adsorvido ou, muitas vezes, de natureza desconhecida que ao se formarem reduzem a velocidade de corrosão em vários graus de magnitude, impedindo o contato direto do material metálico com o meio agressivo.

Carepa de laminação: Capa espessa de óxido que se desenvolve sobre os produtos metálicos durante a fabricação, na operação de laminação a quente. Nos aços, é constituída principalmente de magnetita.

Cátion: Íon carregado positivamente que migra para o catodo em uma célula e letrolítica, ou que é produzido no anodo de uma célula eletroquímica ou pilha de corrosão.

Cátodo: O eletrodo de uma pilha de corrosão, onde ocorre o processo de redução. Processos catódicos típicos de corrosão são a redução de oxigênio em meios neutros ou alcalinos ($O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$) e de prótons em meios ácidos ($2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$).

Pilares: representam os elementos estruturais de suporte ou sustentação.

Constante de Stern: Parâmetro dependente das constantes de Tafel: $B = b_a b_c / 2.3(b_a + b_c)$, que relaciona a intensidade de corrosão com a resistência de polarização na equação de Stern: $i_{corr} = B/R_p$. Normalmente, B está comprendido entre 13 e 52 mV.

Contra-eletrodo: É o eletrodo utilizado com o propósito de fechar o circuito e transferir corrente para o eletrodo de trabalho (corpo-de-prova em estudo), ou a partir do eletrodo de trabalho. Também conhecido como eletrodo auxiliar.

Controle da corrosão: Manutenção da velocidade de corrosão e da forma de ataque em um sistema metal/meio ambiente, em um nível e morfologia toleráveis e a um custo aceitável.

Corrente de intercâmbio: Refere-se à velocidade de transferência de elétrons entre duas espécies que intervêm em um processo redox em equilíbrio, ou seja, sem transformação líquida de substância.

Corrosão: A transformação de um metal do seu estado elementar ao estado combinado (estado iônico), por reação com o meio ambiente.

Corrosão eletroquímica: Diz-se de qualquer tipo de corrosão que se desenvolve à temperatura ambiente ou moderada, porque responde a um mecanismo eletroquímico com anodos e catodos individualizados no seio de um eletrólito.

Corrosão por crévice: Ataque localizado devido à formação de pilhas de concentração em fissuras ou áreas de difícil acesso entre duas superfícies, uma das quais, pelo menos, é metálica.

Corrosão por erosão: Efeito conjunto da ação corrosiva do meio e abrasiva de um fluido movendo-se a velocidade elevada, que resulta da destruição contínua das capas superficiais protetoras de produtos de corrosão. A presença de partículas suspensas acelera muito o componente mecânico abrasivo.

Corrosão por fadiga: Falha por ruptura frágil devida à ação combinada de um meio corrosivo e ciclos de tensões mecânicas.

Corrosão galvânica ou bimetálica: Corrosão devida ao par formado por dois metais diferentes em contato elétrico e expostos a um eletrólito, condições nas quais o metal mais eletropositivo estimula a corrosão do mais eletronegativo e este corroi-se menos que quando se apresenta isolado no mesmo meio.

Corrosão intergranular: Ataque preferencial nos limites do grão e zonas vizinhas de um metal ou liga. Também conhecida como corrosão intercristalina. É devida a heterogeneidades de composição, neste caso entre a borda e o interior dos grãos.

Corrosão por correntes de fuga: Deterioração devida a correntes erráticas que escapam das instalações elétricas, preferentemente de corrente contínua, que penetram nas estruturas metálicas e as corroem no lugar por onde saem em direção ao meio externo.

Corrosão por pite: Ataque localizado que produz uma penetração apreciável no metal em forma de cavidades de pequena seção, às vezes desprezíveis à simples vista. Este tipo de corrosão geralmente é devida a heterogeneidades do meio.

Corrosão uniforme ou generalizada: Ataque que, aproximadamente, afeta por igual a toda a superfície metálica. Embora sua quantidade possa resultar importante, é o tipo de corrosão mais facilmente controlável.

Corrosividade: Agressividade ou potencial corrosivo de um meio.

Curva de polarização: A relação entre o potencial imposto a um eletrodo e a i ntensidade medida (ou vice-versa). É representada em coordenadas normais V – i (potencial em relação à densidade de corrente) ou logarítmicas, V – log i.

D

Decapante: Substância, geralmente ácida e em solução aquosa, utilizada para eliminar a carepa de laminação, ou outros produtos de corrosão, de uma superfície metálica. Em geral, os decapantes são empregados conjuntamente com inibidores de corrosão, que evitam o ataque do substrato.

Densidade de corrente: Quantidade de corrente por unidade de tempo e superfície (intensidade de corrente por unidade de superfície). Costuma ser expressa em A/m^2, mA/m^2, mA/cm^2 ,$\mu A/cm^2$, etc.

Densidade de corrente crítica de passivação: Refere-se ao máximo de corrente na região ativa do ramo anódico das curvas de polarização, de metais ou ligas que exibem a transição atividade-passividade no meio estudado.

Desprendimento ou lascamento (Spalling): Desprendimento de fragmentos de uma superfície ou revestimento superficial devido às tensões geradas pela corrosão (por exemplo, no caso das estruturas corroídas de concreto armado) ou por dilatações e retrações diferenciais.

Despolarização: Redução ou eliminação da polarização de um eletrodo por meios físicos ou químicos, deslocando o potencial para o seu valor normal em circuito aberto (potencial de corrosão). Se a polarização é natural, a despolarização tem como conseqüência o aumento da velocidade de corrosão.

Despolarizante: Substância que desloca o potencial de um eletrodo para o seu potencial de corrosão habitual, facilitando os processos redox no eletrodo e, portanto, a corrosão.

Diagramas de impedância: Representação da impedância de um eletrodo, normalmente em um plano imaginário (em que para cada freqüência corresponde um módulo e um argumento do vetor impedância), de onde se pode extrair informação sobre o mecanismo do processo de corrosão e sobre sua cinética.

Diagramas de Pourbaix: Diagramas com o pH e os potenciais de equilíbrio como coordenadas, que mostram as fases em equilíbrio quando um metal reage com uma solução aquosa de um determinado eletrólito.

Durabilidade: Termo que, referido a um elemento ou estrutura metálica, indica a vida em serviço residual da mesma.

E

Equação de Tafel: Relação linear entre a polarização de um eletrodo e o logaritmo da densidade de corrente que é produzida quando a transferência de cargas é a etapa que controla a reação: $\eta = a + b \log i$.

Equação de Stern: Expressão que relaciona a densidade de corrente de corrosão, i_{corr}, com a declividade das curvas de polarização no potencial de corrosão, $\Delta E/\Delta I$ (conhecida como resistência de polarização, R_p), através de uma constante de proporcionalidade B:

$$I_{corr} = B\Delta I/\Delta E = B/R_p$$

onde $B = b_a \cdot b_c/2.3(b_a + b_c)$, é função das declividades anódica e catódica de Tafel, b_a y b_c.

Eletrodo: Condutor eletrônico, normalmente metálico, por meio do qual são proporcionados os elétrons necessários a uma reação, ou se consumem os elétrons resultantes da mesma.

Eletrodo auxiliar: Ver contra-eletrodo.

Eletrodo de referência: Uma semipilha praticamente impolarizável e de potencial constante, que serve para medir e controlar o potencial do eletrodo submetido a estudo na célula de ensaio, referindo-o a uma escala arbitrária (por exemplo, a escala de hidrogênio, de $Cu/CuSO_4$, de Ag/AgCl, etc.).

Eletrodo de trabalho: Trata-se do corpo-de-prova ou eletrodo submetido a estudo em uma célula eletroquímica.

Eletrólito: Substância química ou mistura de substâncias, geralmente líquida ou em solução aquosa, que contém íons que migram em um campo elétrico. Mais simplesmente, condutor iônico.

Equilíbrio: Estado termodinâmico em que as mudanças produzidas em um processo físico ou químico são equivalentes nos dois sentidos e não tem lugar uma transformação líquida de estado ou de substância.

Equivalente eletroquímico: Peso de um elemento oxidado ou reduzido por uma unidade específica de quantidade de eletricidade, geralmente um Coulomb.

Equivalente químico: Quantidade de metal dissolvido (oxidada) ou depositado a partir de uma solução de íons (reduzida) pela passagem de uma carga elétrica de 96.500 Coulombs, conhecida por Faraday. Expresso em gramas, é o peso molecular dividido pela valência ou número de elétrons implicados na produção ou depósito de cátions.

Etapa controladora: A mais lenta dentre as etapas parciais em série que intervêm no processo global de corrosão e que regula sua cinética: transferência de carga, transporte por difusão de reagentes ou produtos de corrosão, etc.

Exfoliação: Perda de um material em forma de flocos, lâminas ou capas, às vezes devida a um fenômeno de corrosão.

F

Faraday: Quantidade de eletricidade requerida para oxidar ou reduzir um equivalente químico (peso atômico/valência) de um metal. Um Faraday equivale a 96.500 Coulombs, aproximadamente.

Fadiga: Processo no qual um material é submetido a ciclos de tensões alternadas. As falhas por fadiga começam em microfissuras pré-existentes, que logo se propagam por e feito dos ciclos de tensões até produzir uma fratura frágil. A concorrência de fadiga e corrosão acelera a falha (ver corrosão por fadiga).

Filme: Em corrosão, película ou capa superficial, às vezes de espessura tão pequena que não é visível.

Fragilização: Perda severa de dutilidade de um metal ou liga.

Fragilização por hidrogênio: Perda de dutilidade causada pela entrada de hidrogênio em um material metálico, por exemplo na decapagem, durante a polarização eletrolítica, ou a polarização catódica intensa.

G

Galvanização a quente: Revestimento do ferro e do aço por imersão em um banho de zinco fundido.

Galvanostática: Refere-se à técnica que aplica uma corrente constante aos corpos-de-prova estudados. Também denominada intensiostática.

Galvanostato: Instrumento capaz de impor e manter una corrente constante a um eletrodo de trabalho, ou fazer variar a intensidade que circula por ele de acordo com uma seqüência prefixada de tempo.

Graute: Material de elevado desempenho, auto-adensável, que dispensa vibração mecânica.

H

Hematita: Óxido de ferro, em geral não estequiométrico, que responde à fórmula aproximada Fe_2O_3 e se produz como o estrato mais externo das multicapas que são geradas na oxidação dos materiais férreos a temperaturas elevadas.

Ferrugem: Produto de corrosão do ferro e ligas de ferro, de cor pardo-avermelhada, composto principalmente por óxido férrico hidratado.

Concreto: Material de construção resultante da hidratação de uma mistura de cimento, agregados inertes de dimensões controladas (geralmente brita) e água.

Concreto armado: Concreto no qual são introduzidas barras de aço durante sua produção, para conferir ao concreto maior resistência à tração e obter um material compósito no qual combinam-se favoravelmente as características de seus componentes.

Umidade relativa: A relação, expressa em porcentagem, entre a quantidade de vapor de água presente na atmosfera a uma dada temperatura e a quantidade requerida para a saturação à temperatura indicada.

I

Inibidor de corrosão: Substância ou misturas de substâncias capazes de reduzir de maneira eficaz a velocidade de corrosão de um material metálico quando adicionado ao meio, geralmente em pequenas concentrações.

Imunidade: Estado em que se elimina a corrosão por imposição à superfície metálica de potenciais mais negativos que o potencial de equilíbrio da semi-reação anódica de oxidação. Na prática é aceito que existe imunidade quando o potencial do eletrodo é mais negativo que o potencial de equilíbrio a uma concentração de íons metálicos de 10^{-6} moles/litro.

Imprimação: Primeira capa de pintura, aplicada para inibir a corrosão ou melhorar a aderência da capa seguinte.

Intensiostática: O mesmo que galvanostática.

Intensiodinâmica: Técnica de polarização em que se faz variar a densidade de corrente do eletrodo de trabalho segundo uma função prefixada do tempo.

Íon: Um átomo ou grupo de átomos com carga elétrica.

L

Ley de Faraday: Expressão que relaciona a quantidade de substância oxidada ou reduzida (dissolvida ou depositada) com a quantidade de corrente que circulou pelo eletrodo.

Ley de Tafel: Relação linear entre a polarização e o log da densidade de corrente para uma reação de eletrodo na qual a transferência de carga é a etapa controladora.

Limite de difusão: Máxima velocidade de transporte permitida pela difusão para uma determinada substância. O fenômeno se manifesta porque é alcançada uma densidade crítica de corrente que praticamente permanece invariável ao aumentar a polarização.

Limite de elasticidade: Máxima tensão que um material pode atingir sem sofrer deformação plástica.

Limite de fadiga: Máximo nível de tensões cíclicas que um metal pode suportar sem sofrer ruptura por fadiga, para um número de ciclos determinado.

Limite de fadiga por corrosão: Máxima tensão que um metal pode suportar para um determinado número de ciclos em um dado meio corrosivo. Naturalmente, a corrosão reduz o limite de fadiga.

Limite de ruptura: Máxima tensão que um material pode suportar sem sofrer ruptura.

M

Fosco: Referido a uma superfície metálica, indica baixa refletividade especular ou ausência de brilho.

Metal ativo: Metal pouco resistente à corrosão, ou que está sofrendo corrosão. A estes metais corresponde um potencial próximo ao extremo mais negativo (mais ativo) das séries eletroquímica ou galvânica de potenciais.

Metal nobre: Metal pouco reativo, como o ouro, a prata ou o cobre, que pode ser encontrado na natureza sem se combinar. A este tipo de metal correspondem potenciais próximos ao extremo positivo (mais nobre) das séries eletroquímica ou galvânica de potenciais.

Microconcreto: graute com pedrisco mais aditivos e adições, produzido em obra ou industrializado, de alto desempenho, auto-adensável, que dispensa vibração mecânica.

Migração iônica: movimento de íons para o anodo ou para o catodo sob a influência de um campo elétrico.

Argamassa: Mistura de um aglomerante, areia e água que é empregada na construção por sua capacidade de endurecer.

Argamassa de cimento: Argamassa em que se emprega cimento como aglomerante. Diferencia-se do concreto no tamanho dos agregados, mais finos na argamassa por tratar-se de areia. A argamassa de cimento pode ser considerada como um «microconcreto». Freqüentemente se utiliza apenas o termo argamassa para designar as argamassas de cimento.

N

Nobre: Refere-se ao extremo mais positivo, anódico ou oxidante dos potenciais de eletrodo e também aos metais que se encontram em estado livre (sem se combinar) na natureza.

O

Oxidação: Perda de elétrons em uma reação química ou eletroquímica, por exemplo, nos processos anódicos, quando um metal passa do estado metálico ao de catión (estado oxidado, combinado ou corroído).

Oxidante: Substância capaz de oxidar outras substâncias, devido a sua elevada afinidade eletrônica, que faz com que «roube» os elétrons de valência da outra substância e as oxide, enquanto se reduz no processo redox global.

P

Par galvânico: Pilha formada por dois metais distintos em contato elétrico e no seio do mesmo eletrólito.

Passivação: Transição do estado ativo ao passivo de muitos metais ou ligas em certos meios. Pode ser natural ou forçada por uma polarização anódica. Constitui uma exceção de grande importância prática à lei geral em eletroquímica, que estabelece velocidades de corrosão crescentes para polarizações anódicas também crescentes.

Passivo: Estado que implica uma reatividade muito pequena, ou seja, velocidades insignificantes de corrosão em condições com forte tendência termodinâmica à corrosão do eletrodo.

Declividade de Tafel: Quando se polariza um eletrodo, se o processo global é controlado pela transferência de cargas elétricas, obtém-se uma relação linear, em coordenadas semilogarítmicas, entre o potencial e a densidade de corrente: η = a b log i. Relação observada pela primeira vez por Tafel, em que η representa a polarização do eletrodo, i a densidade de corrente, a uma constante do sistema metal/meio, e b as declividades anódica e catódica das curvas de polarização.

pH: Medida da acidez ou alcalinidade de uma solução. Em sentido estrito, é o logaritmo do inverso da atividade de íons hidrogênio na solução: pH = log a_{H+}. O valor 7 de pH corresponde a uma solução neutra; os valores inferiores correspondem a meios ácidos e os superiores a meios alcalinos.

Pilares: também conhecidos por colunas ou suportes, representam os elementos estruturais de suporte.

Pilhas de aeração diferencial: Pilhas de corrosão cuja força eletromotriz é a diferença de potencial originada por diferentes concentrações de oxigênio dissolvido em dois pontos.

Pilhas de concentração: Pilhas de corrosão cuja diferença de potencial entre o anodo e o catodo é devida a diferenças na concentração de um ou mais constituintes eletroquimicamente reativos, como o oxigênio dissolvido no eletrólito, os cátions metálicos, etc.

Pilhas de corrosão: Qualquer tipo de heterogeneidades, do metal, do meio agressivo ou das condições de exposição, que geram diferenças de potencial entre áreas metálicas próximas, criando micropilhas locais ou macropilhas.

Pilhas galvânicas: Ver par galvânico.

Pilhas de passividade e atividade: Pilhas de corrosão formadas por áreas do mesmo metal nos estados passivo e ativo. Geralmente são muito ativas por causa da diferença de potencial considerável entre anodo e catodo.

Polarização: É a diferença matemática entre o potencial do eletrodo para dadas condições de densidade de corrente e o potencial de corrosão ou potencial em circuito aberto: $\eta = E - E_{corr}$. Geralmente são considerados seus componentes: polarizações de ativação, de concentração e de resistência.

Polarização anódica: Deslocamento do potencial de eletrodo resultante do fluxo de correntes positivas. O potencial se faz mais positivo (mais nobre ou mais anódico).

Polarização catódica: Efeito do fluxo de correntes negativas sobre o potencial de eletrodo, que se faz mais negativo (mais ativo ou mais catódico).

Polarização de ativação: Parte da polarização que existe através da dupla capa eléctrica em uma interface metal/eletrólito e influi diretamente sobre a velocidade dos processos de eletrodo, alterando a energia de ativação do processo de transferência de cargas.

Polarização de concentração (de difusão ou transporte): Mudanças de potencial de um eletrodo devidas a diferenças na concentração da solução adjacente à interface metal/eletrólito produzidas pelas reações de eletrodo.

Polarização de resistência: Parte da polarização que se estabelece entre os eletrodos de referência e de trabalho, como conseqüência da resistência que o meio oferece à passagem de corrente. Pode-se dizer que é «a parte perdida», por efeito da reação, das leituras de potencial.

Porosidade: Canais, muitas vezes microscópicos, em um revestimento, metálico ou de outro tipo, que se extendem até o substrato. Porcentagem de vazios formados por canais visíveis ou invisíveis, em um meio sólido descontínuo, como o concreto.

Potencial: Diferença de potencial de um eletrodo (semipilha ou semi-elemento) definida com relação a outro eletrodo específico, conhecido por eletrodo de referência.

Potencial de corrosão: É o potencial de um eletrodo que se corrói em um dado meio, sem fluxo de corrente externa. Para o mesmo conceito são também empregados os seguintes termos: potencial de circuito aberto, potencial livre de corrosão, potencial de repouso, potencial de abandono e potencial estacionário. O potencial de corrosão não é um potencial de equilíbrio, pois embora se dê em um equilíbrio elétrico, ocorre transformação líquida de substância, com a única condição de que exista equivalência entre as velocidades globais de oxidação e redução.

Potencial misto: É o potencial observado em um eletrodo quando duas ou mais reações eletroquímicas estão ocorrendo simultaneamente em sua superfície; por exemplo, em um corpo-de-prova que se corrói com múltiplos microanodos e microcatodos onde se verificam as reações parciais de corrosão.

Potenciodinâmica: Também denominada potenciocinética, é a técnica de variar o potencial de eletrodo de trabalho de uma maneira contínua e a velocidade predeterminada. Utiliza-se freqüentemente na obtenção de curvas de polarização.

Potenciostática: Refere-se à técnica que mantém o potencial de um eletrodo de trabalho constante a um valor predeterminado durante qualquer tipo de ensaio, como, por exemplo, a medida da intensidade durante um dado período de tempo.

Potenciostato: Dispositivo ou instrumento eletrônico que mantém um eletrodo sob potencial constante e é capaz de variá-lo também, segundo uma seqüência de tempo, dentro de uma margem ampla de velocidades de varredura. Atualmente, os potenciostatos comerciais incluem também a possibilidade de funcionar como galvanostatos. O potenciostato talvez seja o instrumento mais usado atualmente nos estudos de corrosão.

Proteção anódica: Método de proteção aplicável aos sistemas que mostram a transição atividade-passividade, consistente em impor nas estruturas metálicas o estado passivo, com um procedimento potenciostático, polarizando-as anodicamente e mantendo tal estado com um fluxo muito pequeno de corrente.

Proteção catódica: Redução ou eliminação do fenômeno de corrosão de uma superfície metálica por meio de uma polarização catódica que desloque seu potencial até a zona de imunidade dos diagramas de Pourbaix. A proteção catódica pode aplicar-se unindo a estrutura ao pólo negativo de um retificador (método de corrente impressa) ou unindo-a a um metal muito eletronegativo como o zinco, o alumínio ou o magnésio (método dos anodos de sacrifício).

R

Redução: Processo químico ou eletroquímico no qual uma substância ganha elétrons, como a formação de OH^- a partir do oxigênio dissolvido, ou de gás hidrogênio a partir dos prótons (H_3O^+ o H^+) em meios ácidos.

Redutor: Substância que causa a redução de outras, cedendo elétrons, enquanto que ela se oxida.

Repassivação: Fenômeno consistente na recuperação do estado passivo em toda a superfície de um metal que o havia perdido localmente, corroendo-se por pites. A repassivação é produzida ao impor-se potenciais iguais ou inferiores (mais negativos) que o denominado potencial de proteção, repassivação ou de passivação perfeita, que é conhecido em todas estas formas.

Resistência de polarização: A declividade, dE/di, das curvas de polarização no potencial de corrosão. A resistência de polarização, R_p, é inversamente proporcional à densidade de corrente de corrosão, $i_{corr} = B/R_p$, quando a técnica de polarização linear é aplicável (B é a constante de Stern).

S

Semi-elemento ou semipilha: Um metal puro em contato com uma solução de seus próprios íons dá origem, para dadas condições, a um potencial característico e reprodu tível que, em condições normais, é o potencial padrão ou normal. Quando uma semipilha se une a outra, pode-se medir uma diferença

de potencial e, se feita com r elação ao eletrodo de hidrogênio, obtém-se diretamente o potencial da outra semipilha.

Semi-reação: Em um fenômeno de corrosão são os processos catódicos (que constituem semi-reações de redução) e anódicos (que constituem semi-reações de oxidação) que, considerados conjuntamente, constituem o processo global de corrosão (reação redox).

Série eletroquímica: Relação ordenada de elementos de acordo com seu potencial padrão em relação ao eletrodo normal de hidrogênio, ao qual, por convenção, atribui-se o valor zero.

Séries galvânicas: Listas de metais e ligas ordenadas segundo seus potenciais em um meio específico, geralmente água do mar.

Suportes: também conhecidos por pilares ou colunas, representam os elementos estruturais de sustentação.

Substrato: O metal base sobre o qual estão sendo aplicadas as capas ou depósitos.

V

Velocidade de corrosão: Quantidade de metal ou liga deteriorada (oxidada) por unidade de tempo. Pode ser expressa em função da penetração (mm/ano, µm/ano, etc.), da variação de peso por unidade de superfície ($g/m^2 \cdot d$, $m \cdot d^2 \cdot d$, ou seja, gramas por metro quadrado e dia ou miligramas por decímetro quadrado e dia), etc.

ÍNDICE DETALHADO

O trabalho apresentado neste Manual é o resultado da contribuição voluntária dos maiores especialistas Ibero-Americanos em recuperação de estruturas de concreto. Reunidos sob os auspícios do renomado CYTED, Programa Ibero-Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento idealizado e dirigido pela Espanha desde fins da década de 80, com apoio das CONCYTs de todos os países Ibero-Americanos. Especialmente, neste caso a Rede Rehabilitar - Recuperação de Estruturas de Concreto, Reparo, Reforço e Proteção conta com importante suporte financeiro do Consejo Superior de Investigación Científica CSIC da Espanha e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, do Brasil.

A Rede Rehabilitar é parte do SubPrograma XV Corrosão e Impacto Ambiental sobre os Materiais, e compõe-se de 13 delegados representantes da Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Cuba, Espanha, México, Paraguai, Peru, Portugal, Uruguai e Venezuela. Além destes responsáveis diretos pela redação deste Manual, vários outros especialistas, mais de 50, contribuíram com sua experiência e conhecimento através da participação nas chamadas Redes Rehabilitar Nacionais (locais), que congregam os especialistas de cada país com a intenção de difundir este trabalho e aprimorá-lo.

Este Manual, produto do trabalho desse grupo, conseguiu alcançar o objetivo principal desta Rede Rehabilitar, que é o de transformar o conhecimento existente e disperso sobre materiais e técnicas de intervenção em estruturas de concreto para correção de problemas patológicos em um Manual prático e objetivo que possa ser utilizado pelo meio técnico de forma geral e irrestrita.

Neste Manual, o profissional da área pode encontrar a maioria das respostas a suas perguntas sobre que ações considerar nos trabalhos de recuperação, como elaborar um primeiro diagnóstico dos problemas, o que analisar para escolher a melhor solução, quais os materiais e sistemas de recuperação, como proceder para o preparo e limpeza do substrato, quais são os procedimentos corretos de reparo em geral, de proteção de de armaduras e de reforço estrutural; como contratar os trabalhos, como implantar um sistema de controle de qualidade e critérios de recepção.

Finaliza apresentando um glossário de termos técnicos e uma relação completa de publicações relacionadas ao assunto, para facilitar a vida acadêmica e profissional dos engenheiros que desejam aprofundar seus conhecimentos.